



**Universidade Federal do Tocantins
Campus de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

FRANCISCO DE CARVALHO RIBEIRO

**DOSES DE GLYPHOSATO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS
AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DA SOJA RR EM CONDIÇÕES DE
VÁRZEA SISTEMATIZADA**

GURUPI-TO
2016



**Universidade Federal do Tocantins
Campus de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

FRANCISCO DE CARVALHO RIBEIRO

**DOSES DE GLYPHOSATO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS
AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DA SOJA RR EM CONDIÇÕES DE
VÁRZEA SISTEMATIZADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo

GURUPI-TO
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

R484d Ribeiro, Francisco de Carvalho .

Doses de glyphosato sobre as características agronômicas e fisiológicas da soja RR em condições de várzea sistematizada. / Francisco de Carvalho Ribeiro. – Gurupi, TO, 2016.

56 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Produção Vegetal, 2016.

Orientador: Eduardo Andre Lemus Erasmo

1. Fotossíntese. 2. Glycine max. 3. Herbicida. 4. Competição. I. Título

CDD 635


TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

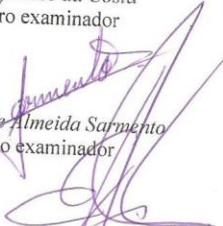
Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ATA 15/2016

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE FRANCISCO DE CARVALHO RIBEIRO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS


Aos 30 dias do mês de dezembro do ano de 2016, às 14 horas, na sala de Pós Graduação em Produção Vegetal, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo do Campus Universitário de Gurupi Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. Sérgio José da Costa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Prof. Dr. Renato Almeida Sarmiento do Campus Universitário de Gurupi / Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de Francisco de Carvalho Ribeiro, intitulada "*Doses de glyphosato sobre as características agronômicas e fisiológicas da soja RR em condições de várzea sistematizada*". Após a exposição, a discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, habilitando-o(a) ao título de Mestre/doutor em Produção Vegetal. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Dr. Sérgio José da Costa
Primeiro examinador


Dr. Renato de Almeida Sarmiento
Segundo examinador

Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo
Universidade Federal do Tocantins
Orientador e presidente da banca examinadora

Gurupi, 30 de Dezembro de 2016.


Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa”.

Albert Einstein

DEDICO

Aos meus pais Francisco Ribeiro de Sousa (*in memorian*) e a minha mãe Gildete Vieira de Carvalho pela compreensão, valores verdadeiros e por acreditar sempre que tudo é possível.

À minha família Francileia de Sousa Rocha, Eduardo de Carvalho Ribeiro, Gilmara de Carvalho Ribeiro e Edinaldo de Carvalho Ribeiro, pelo amor, carinho e apoio incondicional.

Ao meu amigo José Iran Cardoso da Silva (*in memorian*), pela paciência, conhecimentos repassados e compreensão nos momentos importantes da minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, presente em todos os momentos da minha vida, a família que a base de todo ser.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos fornecida durante a curso de Mestrado em Produção Vegetal.

Expresso o agradecimento ao meu orientador, professor Eduardo Andrea Lemus Erasmo, por ter dado apoio na condução dos trabalhos de forma que eu conseguisse, não somente concluir este trabalho, mas enxergar novos horizontes a serem atingidos.

À Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi (UFT - Gurupi) e ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Produção Vegetal, aos professores pela motivação para buscar o aprendizado a cada dia.

Aos professores Sérgio José da Costa, Renato de Almeida Sarmiento e ao meu amigo Michel Antônio Dotto por participarem desta avaliação.

À minha Família Francileia de Sousa Rocha, Eduardo de Carvalho Ribeiro, Gilmara de Carvalho Ribeiro e Edinaldo de Carvalho Ribeiro que desde o início incentivaram na realização desta etapa, pelo amor concedido, pelo companheirismo dedicado, mesmo em momentos frágeis e difíceis de nossas vidas.

À todos os colegas do grupo de pesquisa especialmente ao Jose Iran (*in memorian*) pelas dicas e pelas conversas saudáveis, Thomas, Marciane, Ismael, Bonfim, Sara, David, André, Gislean e aos demais integrantes do grupo de pesquisa de Ecofisiologia e Manejo de Plantas Daninhas.

Aos meus amigos Eduardo Bezerra de Moraes e Edilson Pereira de Matos pela contribuição com ensinamentos e apoio sempre que preciso, influenciando diretamente no meu crescimento profissional.

Agradeço a todos aqueles que conviveram comigo durante estes dois anos e que interferiram positivamente para que este trabalho fosse realizado e concluído.

Muito Obrigado!

RESUMO GERAL

Doses de glyphosato sobre as características agronômicas e fisiológicas da soja RR em condições de várzea sistematizada

Problemas causados pelo herbicida glyphosate na cultura da soja RR, constituem um tema bastante atual. No entanto, grande parte dos estudos disponíveis atualmente revelam os possíveis efeitos negativos do glyphosate ao crescimento e ao desenvolvimento da soja RR. Com o contínuo aumento da área de soja RR no mundo, muitos produtores relatam que algumas variedades apresentam sintomas de injúrias após a aplicação, sendo estas cultivadas em áreas que apresentam plantas daninhas de difícil controle. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de doses crescentes do herbicida glyphosate nos caracteres agronômicos e parâmetros fotossintéticos da soja RR em condições de várzea sistematizada. Foram avaliados os determinados caracteres agronômicos: Densidades de plantas daninhas aos 0 DAA e 21 DAA, Controle de Plantas Daninhas aos 7, 14, 21 DAA, Fitotoxicidade aos 7,14 e 21 DAA, massa seca da parte planta⁻¹, massa seca de raiz planta⁻¹, altura de plantas, inserção da primeira vagem, números de vagens planta⁻¹, massa de 1.000 grãos e produtividade de grãos. Para os parâmetros fisiológicos avaliou-se a fotossíntese (A), condutância estomática (Gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e transpiração (E) em condições de várzea sistematizada.

Palavras chave: Fotossíntese; *Glycine max*; herbicida.

GENERAL ABSTRACT

Doses of glyphosate on the agronomic and physiological characteristics of RR soybean under systematized meadow conditions

Problems caused by glyphosate herbicide in RR soybean crop are a very current issue. However, much of the currently available studies reveal the possible negative effects of glyphosate on the growth and development of RR soybeans. With the continual increase of the RR soybean area in the world, many farmers report that some varieties show signs of injury after application, and are grown in areas with difficult to control weeds. The objective of this work was to evaluate the effects of increasing doses of glyphosate herbicide on agronomic traits and photosynthetic parameters of RR soybean under conditions of lowland systematized. The following agronomic characters were evaluated: Weed densities at 0 DAA and 21 DAA, Control of weeds at 7, 14, 21 DAA, Phytotoxicity at 7,14 and 21 DAA, dry mass of plant⁻¹ part, dry mass of palnta⁻¹ root, height of Plants, first pod insertion, plant-1 pod numbers, 1,000 grain mass and grain yield. For the physiological parameters photosynthesis, stomatal conductance, internal carbon, transpiration, water use efficiency and intrinsic efficiency were evaluated in lowland conditions.

Key words: Photosynthesis; Glycine max; herbicide.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	11
CAPÍTULO 01: EFEITO DE DOSES DE GLYPHOSATE SOBRE CARACTERES AGRONÔMICOS DA SOJA RR EM CONDIÇÕES DE VÁRZEA SISTEMATIZADA	
1.1 RESUMO.....	16
1.2 ABSTRACT.....	17
1.3 INTRODUÇÃO.....	18
1.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
1.5 RESULTADOS.....	24
1.6 DISCUSSÃO.....	30
1.7 CONCLUSÕES.....	35
1.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
CAPÍTULO 02: INFLUÊNCIA DO GLYPHOSATE NOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DA SOJA RR EM CONDIÇÕES DE VÁRZEA SISTEMATIZADA	
2.1 RESUMO	39
2.2 ABSTRACT.....	40
2.3 INTRODUÇÃO.....	41
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.5 RESULTADOS.....	46
2.6 DISCUSSÃO.....	51
2.7 CONCLUSÕES.....	54
2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

INTRODUÇÃO GERAL

A soja é uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal, amplamente utilizada na alimentação humana e animal (SOUZA et al., 2010), demonstrando também um grande potencial como fonte de energia, através de biocombustíveis.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de grãos, atrás apenas dos Estados Unidos. Segundo o levantamento da Conab (2015), a soja representa mais de 40% da produção de grãos brasileira. O mesmo levantamento aponta ainda na safra de soja 2014/15 recordes de 31.908.300,00 de hectares em área plantada, 3.016,00 kg ha⁻¹ produtividade média nacional e produção de 96.222.100,00 de toneladas em todo o Brasil. O estado do Tocantins representou 834.400,00 de hectares em área plantada, 2.927,00 kg ha⁻¹ produtividade média e produção de 2.442.300,00 de toneladas no estado.

O Estado do Tocantins apresenta condições edafoclimáticas favoráveis à exploração agrícola da cultura da soja na safra de inverno, a exemplo das áreas de várzeas do Projeto Rio Formoso, no município de Formoso do Araguaia, e do Projeto Javaés, na Lagoa da Confusão, que utilizam irrigação por subinundação, a qual consiste no sistema de tabuleiros com canais utilizados para elevar o nível do lençol freático (PELÚZIO et al., 2008). Esse sistema de irrigação viabiliza a safra do arroz irrigado no período das chuvas e na entressafra e o cultivo de espécies de sequeiro, como a cultura da soja que em grande maioria são destinadas para produção de sementes.

O manejo de plantas daninhas é um desafio constante para os agricultores e as inovações contínuas nessa área são essenciais para manter a efetividade dessa prática. A tecnologia que proporcionou maior impacto no manejo de plantas daninhas, nos últimos dez anos, foi a introdução de variedades tolerantes a herbicidas.

Empresas da área de Biotecnologia investem a cada ano bilhões de dólares para o desenvolvimento de variedades resistentes a herbicidas. A primeira geração de soja resistente ao glyphosate (RR) já apresenta uma área plantada no Brasil superior a 10 milhões de hectares, área menor que a cultivada em outros países como EUA e Argentina que plantam, aproximadamente, 26 e 16 milhões de hectares de soja RR, respectivamente (USDA, 2016).

O primeiro relato sobre a ação do glyphosate foi feito em relação à sua propriedade metal-quelante (JAWORSKI, 1972), sendo que o glyphosate atua na enzima 5-enol-piruvil

chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), bloqueando a produção de aminoácidos aromáticos (DUKE et al., 2003).

A primeira síntese do glyphosate ocorreu em 1950, sendo que este ácido apresentava considerável interesse como um agente complexante, redutor de pH, detergente, e muitas outras aplicações (FRANZ, 1997). Durante os anos de 1960 a 1970, foi desenvolvida ampla rede de pesquisa a fim de descobrir as propriedades herbicidas do glyphosate. A primeira marca comercial começou a ser vendida nos anos 1970, e duas décadas após existiam cerca de 90 marcas formuladas à base desse ingrediente ativo (GRUYS; SIKORSKI, 1999). Em função do grande número de cultivares de soja comercializadas, o herbicida glyphosate é o mais vendido no mundo, principalmente pelo seu amplo espectro de ação e pelo fato de apresentar eficácia no controle de invasoras de difícil manejo.

O herbicida glifosato, de ação pós-emergente, pertence ao grupo químico das glicinas substituídas sendo classificado como não seletivo e de ação sistêmica. Apresenta largo espectro de ação, o que possibilita um excelente controle de plantas daninhas anuais ou perenes, tanto de folhas largas como estreitas (GALLI; MONTEZUNA, 2005), utilizado no Brasil há 30 anos e disponibilizado no mercado com diferentes formulações.

Entretanto, com o aumento do uso da tecnologia RR, muitos produtores têm observado que em determinadas condições, algumas variedades de soja RR apresentam injúrias após a utilização do herbicida glyphosate (ZABLOTOWICZ; REDDY, 2007), mesmo a soja RR sendo resistente ao glyphosate.

Uma das hipóteses para as reduções ocorridas no acúmulo de massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSRA), em soja RR na presença do glyphosate, é o processo de degradação deste herbicida dentro da planta, que resulta na formação do ácido aminometilfosfônico (AMPA), fitotoxina (DUKE et al., 2003). A formação de AMPA, dentro da planta, depende da dose de glyphosate, do genótipo e das condições ambientais (REDDY et al., 2004). Estes fatores que influenciam na formação de AMPA, nas plantas, explicariam o porquê de alguns produtores observam injúrias em soja geneticamente modificada e outros não, e porque os mesmos agricultores frequentemente observam injúrias em um ano e em outros não.

É possível que este mesmo metabólito ou outros, via sarcosínica, ou até mesmo o glyphosate também tenham efeito direto na diminuição da MSPA, MSRA, massa seca de nódulos, número de nódulos, teores de nutrientes e parâmetros fotossintéticos, com possibilidade de perdas de produtividade na soja.

O glyphosate tende a acumular-se em regiões meristemáticas das plantas tratadas, pela sua rápida translocação das folhas para as raízes, rizomas e meristemas apicais por meio do floema, juntamente com os fotoassimilados. Em contraste com outros herbicidas, os sintomas fitotóxicos ocorrem relativamente devagar. Para Mervosh & Balke (1991), a penetração do glyphosate nas células é mediada por proteínas transportadoras de fosfato, presentes na membrana plasmática. O sintoma mais comum observado em plantas susceptíveis é clorose foliar seguida de necrose. A morte da planta susceptível pode ocorrer em alguns dias ou semanas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

O glyphosate bloqueia a enzima EPSP (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate) sintase, a qual catalisa a formação da enzima EPSP do phosphoenolpyruvate (PEP) e shikimate 3-phosphate (S3P), sendo o único herbicida capaz de inibir esta enzima, bloqueando assim a síntese de três aminoácidos aromáticos: Triptofano, fenilalanina e tirosina (ZABLOTOWICZ; REDDY, 2004).

Segundo Trezzi et al. (2001), em plantas suscetíveis tratadas com glyphosate, a molécula do herbicida não se liga à enzima livre, mas ao complexo EPSPs-S3P, impedindo a ligação do PEP, formando o complexo inativo EPSPs-S3P-glyphosate. A ligação do glyphosate ao complexo EPSPs-S3P é 115 vezes mais forte do que com PEP e sua dissociação é 2.300 vezes mais lenta. Nas plantas, a EPSPs é sintetizada no citoplasma, sendo transportada ao cloroplasto em forma de pré-enzima (pEPSPs). A ligação e inibição do glyphosate à enzima também acontece no citoplasma, formando o complexo glyphosate-pEPSPs-S3P (KRUSE et al., 2000). Portanto, há redução na eficiência fotossintética e menor produção de aminoácidos aromáticos (TREZZI et al., 2001).

Embora o mecanismo de ação do glyphosate seja amplamente conhecido, alguns outros possíveis efeitos sobre as plantas são menos estudados. Estes efeitos secundários, no entanto, podem apresentar implicações importantes no crescimento de plantas e influenciar na produtividade de grãos. Por problemas relacionados ao uso do glyphosate em soja RR, objetivou-se com este trabalho avaliar doses do herbicida glyphosate em soja RR nas condições de várzea sistematizada na região sul do Tocantins.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONAB (Companhia Nacional De Abastecimento). **Acompanhamento safra brasileira, Décimo levantamento, da safra 2014/2015**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, V.2/N.10. (Versão online) p. 1-109, julho 2015.
- DUKE, S.O.; RIMANDO, A.M.; PACE, P.F.; REDDY, K.N.; SMEDA, R.J. Isoflavone, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid levels in seeds of glyphosate- treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p.340-344, 2003.
- GRUYS, K.J.; SIKORSKI, J.A. Inhibitors of tryptophan, phenylalanine and tyrosine biosynthesis as herbicides. In: SINGH, B. K. Plant amino acids: biochemistry and biotechnology. **New York**: Marcel Dekker, 1999. p. 357-384.
- FRANZ, J. Glyphosate: A unique global herbicide. Washington, EUA: **American Chemical Society**, 1997. 678 p.
- GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura**. São Paulo: Monsanto do Brasil, 2005. 60 p.
- JAWORSKI, E.G. Mode of action of N-phosphonomethyl-glycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.20, p.1195-1198, 1972.
- PELUZIO, J. M; FIDELIS, R. R; JÚNIOR, D. A; SANTOS, G. R; DIDONET, J. Comportamento de cultivares de soja no sul do estado do Tocantins. **Bioscience Journal**, v. 21, n. 03, p. 113-118, 2005.
- KRUSE, N.D.; TREZZI, M.M.; VIDAL, R.R. Herbicidas inibidores da EPSPS: revisão de literatura. **Revista Brasileira. Herbicida**, v.1, n.2, p.139-146, 2000.
- MERVOSCH, T.L.; BALKE, N.E. Effects of calcium, magnesium, and phosphate on glyphosate absorption by cultured cells. **Weed Science** v.39, p.347-353, 1991.
- REDDY, K.N.; RIMANDO, A.M.; DUKE, S.O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.5139-5143, 2004.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. Guia de Herbicidas. 5. ed. Londrina: **IAPAR**, 2005. 592p.
- TREZZI, M.M.; KRUSE, N.D.; VIDAL, R.A. Inibidores de EPSPS. In: VIDAL, R.A.; MEROTTO JR, A. (Eds.). **Herbicidologia**, Porto Alegre, p.37-45, 2001.
- USDA. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov>. Acesso em 10/07/2016.

SOUZA, M. O.; MARQUES, D. V.; SOUZA, G. S.; MARRA, R. O complexo da soja: aspectos descritivos e previsões. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 1-86, 2010.

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Impact of glyphosate and Bradyhizobium japonicum symbiosis; with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **Journal of Environmental Quality**, v.33, p. 825-831, 2004.

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Crop Protection** v.26, p.370–376, 2007.

CAPÍTULO 01

Efeito de doses de glyphosate sobre caracteres agronômicos da soja RR em condições de várzea sistematizada

Francisco de Carvalho Ribeiro, Eduardo Andrea Lemus Erasmo

RESUMO

Com a rápida difusão e utilização da soja geneticamente modificada, resistente ao glyphosate cultivada em larga escala, houve um aumento considerável na utilização e no número de aplicações desse herbicida. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos de doses crescentes de glyphosate sobre os caracteres agronômicos da soja RR. O trabalho foi conduzido em condições de várzea sistematizada, em área de segundo ano de soja sistema de produção rotacionado (Arroz - Soja) na Fazenda Cereais Vale do Javaés situada no município de Formoso do Araguaia – TO. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições. O experimento foi constituído de treze tratamentos sendo 11 doses do herbicida glyphosate, (180, 360, 540, 720, 900, 1.080, 1.260, 1.440, 1.620, 1.800 e 1.980 gramas de e.a ha⁻¹), uma testemunha capinada e uma testemunha sem capina. As avaliações agronômicas realizadas foram: Densidades de plantas daninhas aos 0 e 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), controle de plantas daninhas aos 7, 14 e 21 DAA, Fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 DAA, massa fresca da parte aérea, massa seca de raiz, altura de planta, altura da primeira vagem, número de vagem planta⁻¹, massa de 1.000 grãos e produtividade de grãos. A elevação das doses do herbicida glyphosate proporcionaram reduções na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), sendo que a partir de 1.260 gramas de e.a ha⁻¹ ocorreu redução no número de vagens planta⁻¹ e na produtividade de grãos.

Palavras Chave: *Glycine max*, herbicida, competição.

Effect of glyphosate doses on agronomic traits of RR soybean under systematized meadow conditions

ABSTRACT

With the rapid diffusion and use of genetically modified soybeans, resistant to glyphosate cultivated on a large scale, it caused a considerable increase in the use and the number of applications of this herbicide. The objective of this work was to evaluate the effects of increasing doses of glyphosate on the agronomic characteristics of RR soybeans. The work was carried out under systematized lowland conditions, in a second year soybean crop rotation system (Rice - Soybean) at Farm Cereals Vale do Javaés, located in the municipality of Formoso do Araguaia – TO. The experimental design was a randomized block with four replicates. The experiment consisted of thirteen treatments, 11 herbicide glyphosate doses (180, 360, 540, 720, 900, 1.080, 1.260, 1.440, 1.620, 1.800 and 1.980 grams of e.a ha⁻¹), a weed control and a control without weeding. The agronomic evaluations were: Weed densities at 0 and 21 days after application of the treatments (DAA), weed control at 7, 14 and 21 DAA, Phytotoxicity at 7, 14 and 21 DAA, fresh mass of the area, Root dry mass, plant height, first pod height, plant⁻¹ pod number, 1.000 grain mass, and grain yield. The doses of glyphosate herbicide provided reductions in shoot dry mass (MSPA) and root dry mass (MSR). Doses from 1.260 grams e.a of ha⁻¹ reduced the number of plant⁻¹ vagns and grain yield.

Key Words: *Glycine max*, herbicide, competition.

INTRODUÇÃO

Com a rápida difusão e utilização da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] geneticamente modificada, resistente ao glyphosate [N-(phosphonomethyl)glycine] cultivada em larga escala, ocasionou um aumento considerável na utilização e no número de aplicações desse herbicida, principalmente em pós-emergência, com três a quatro pulverizações, durante o ciclo da soja (SERRA et al., 2011).

O glyphosate é um potente herbicida de pós-emergência, largo espectro, não seletivo, capaz de controlar efetivamente 76 das 78 plantas invasoras mais agressivas. Após aplicado, é de rápida penetração, seguida por uma longa fase de lenta penetração, sendo que a duração dessas fases depende de numerosos fatores, incluindo espécie, idade, condições ambientais e concentração do glyphosate e surfactante. Nas plantas, o glyphosate se apresenta estável, com pequena degradação detectável ocorrendo em longo período de tempo.

O glyphosate inibe a 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), enzima da rota do shiquimato, que leva à síntese dos aminoácidos aromáticos tirosina, fenilalanina e triptofano (KRUZE et al., 2000) e é importantes para a formação de inúmeros compostos secundários entre os principais flavonóides e lignina.

As cultivares de soja RR produzem a enzima EPSPs proveniente de *Agrobacterium* (PADGETTE et al., 1995) a qual é resistente ao glyphosate. Contudo, isto pode acarretar problemas no metabolismo secundário (LYDON; DUKE, 1989), no metabolismo do AIA (ácido indol-3-acético) (LEE, 1982), na rizosfera (KREMER et al., 2005), na fixação biológica do nitrogênio (MARÍA et al., 2006), na nutrição mineral (NEUMANN et al., 2006) e na produção de metabólitos (como o ácido aminometilfosfônico) com potencial de injúria (REDDY et al., 2004).

Conforme Taiz e Zeiger (2004) qualquer estresse, acarreta efeito negativo sobre o crescimento e desenvolvimento normal das espécies vegetais. O efeito estressante mencionado poderia levar a um menor incremento na massa das sementes o que indicaria uma formação deficiente e sementes mal formadas, não propiciando melhor desempenho fisiológico do material colhido (MARCOS FILHO, 2005).

Neste sentido, pode se afirmar que a soja RR é tolerante ao glyphosato por possuir uma isoforma da EPSPs resistente a essa molécula. Porém, Reddy et al. (2004) alerta que o glyphosate poderá ser absorvido e metabolizado pela planta podendo alterar o metabolismo secundário, uma vez que a enzima EPSPs endógena se mantém inalterada.

Como efeitos negativos mais prováveis provocados pelo glyphosate na fisiologia de plantas de soja RR destacam-se, a nutrição mineral, uso da água e eficiência fotossintética (ZOBIOLE et al. 2010) igualmente promove o acúmulo de compostos da degradação do glyphosate na planta (DUKE et al., 2003), possam ser problemáticos a produtividade da cultura e a qualidade das sementes, seja fisiológica ou sanitária.

Segundo Gazziero et al. (2008), sob determinadas concentrações e formulações do sal de glyphosate a soja tolerante pode sofrer injúrias, a dose deve ser ajustada em função do alvo e da formulação do produto utilizado.

O típico sintoma visual observado no campo após a aplicação do glyphosate na soja RR é conhecido como “yellow flashing” ou amarelecimento das folhas superiores. Algumas variedades de soja RR possuem pequenos sintomas visuais de amarelecimento enquanto outras são extremamente injuriadas pelo glyphosate. O glyphosate pode prejudicar a simbiose entre o rizóbio e a soja (YAMADA et al., 2007).

A compreensão das respostas das plantas transgênicas submetidas ao uso de glyphosate em condições de campo é de fundamental importância para a adoção do manejo dessa tecnologia. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos de doses crescentes de glyphosate sobre os caracteres agrônômicos da soja RR, conduzida em áreas de várzea sistematizada no estado do Tocantins.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em condições de várzea sistematizada, onde as lâminas de água destinadas para irrigação são controladas através da abertura e fechamento de comportas, em área de segundo ano de plantio, sistema de produção rotacionado (Arroz - Soja) na Fazenda Cereais Vale do Javaés situada no município de Formoso do Araguaia – TO, rodovia TO 242, km 483. Localizada em latitude Sul 11° 47' 44,2'' e longitude Oeste 049° 42' 46,7'' apresentando uma altitude de 218 metros. As condições climáticas do período de desenvolvimento do trabalho estão representadas na figura 1.

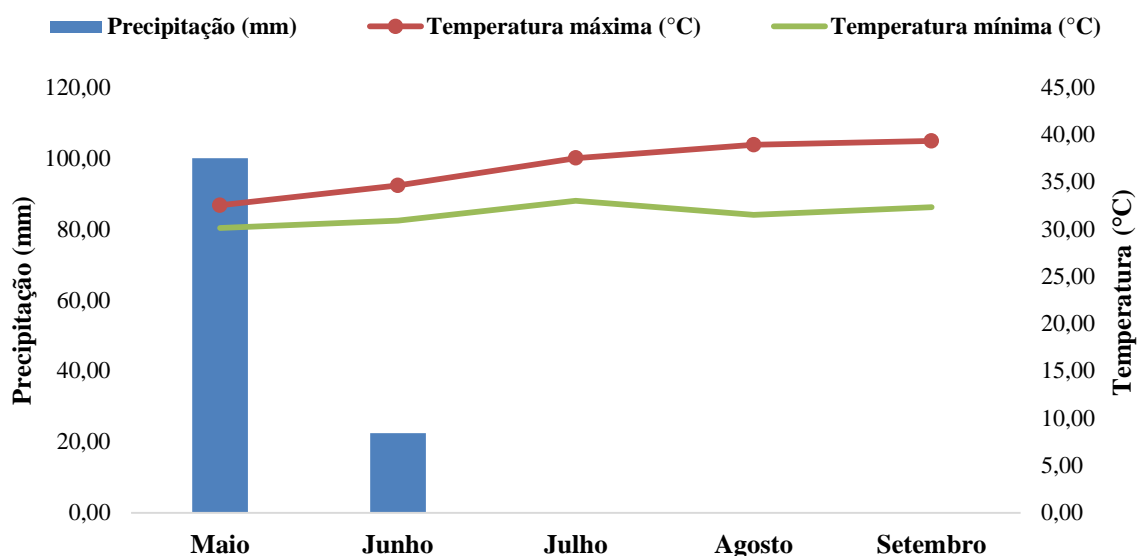


Figura 1 – Dados climáticos do período experimental (Maio de 2015 a Setembro de 2015). Formoso do Araguaia, TO. Fonte: INMET.

Amostras simples de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm com auxílio de trado. O solo apresentou as seguintes características: pH em H₂O = 4,9; M.O (g dm⁻³) = 32,1; P (Melich⁻¹) = 9,0; Ca = 0,7 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,5 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,0 cmol_c dm⁻³; K = 0,8 cmol_c dm⁻³; SB = 2,7 cmol_c dm⁻³; 366,3 g kg⁻¹ de areia; 63,4 g kg⁻¹ de silte e 579,3 g kg⁻¹ de argila.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional com uma aração e duas gradagens, após o processo de preparo do solo, foi passado um rolo nivelador para manter uma melhor uniformidade do terreno e qualidade de semeadura.

A semeadura foi realizada em 04 de junho de 2015, a cultivar utilizada foi a CD 2857 RR caracterizada como material de ciclo médio com grupo de maturação 8.5, com uma densidade de 14 sementes metro⁻¹ e espaçamento de 0,50 metro entre linhas. Por ocasião do plantio inoculou-se as sementes com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, com

concentração mínima de 5×10^9 células viáveis ml^{-1} de inoculante, na dosagem de $0,1 \text{ L ha}^{-1}$ de Inoculante em 50 kg de semente de soja, com a finalidade de se obter boa nodulação das raízes. As sementes foram tratadas com (Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato metílico) na dose de 200 mL para 100 kg de semente. A adubação foi realizada no sulco de plantio utilizando 280 kg ha^{-1} da fórmula 00-20-20 (NPK). Aos 15 DAE (Dias após a emergência) foi realizada uma adubação de cobertura com 60 kg ha^{-1} de KCL (Cloreto de Potássio).

Os tratos culturais para controle de pragas como as lagartas da soja (*Anticarsia Gemmatalis*) e falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*) ao longo do ciclo da cultura utilizaram-se os inseticidas: Metomil ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$), Lambda-cialotrina + Chlorantraniliprole ($0,075 \text{ L ha}^{-1}$) e Teflubenzurom ($0,050 \text{ L ha}^{-1}$). O manejo das doenças Mancha alvo (*Corynespora cassiicola*) e Antracnose (*Colletotrichum truncatum*) foi realizado com três aplicações de fungicidas: Piraclostrobina + Fluxapiroxade ($0,3 \text{ L ha}^{-1}$ e $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ de óleo mineral recomendado pelo fabricante) no estágio vegetativo V8, Trifloxistrobina + Protioconazol ($0,4 \text{ L ha}^{-1}$ e $0,3 \text{ L ha}^{-1}$ de éster metílico de óleo de soja) no estágio reprodutivo R2 e Azoxistrobina + Benzovindiflupir ($0,2 \text{ Kg ha}^{-1}$ e $0,6 \text{ L ha}^{-1}$ de óleo mineral) no estágio reprodutivo R4.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições, o experimento foi constituído de treze tratamentos incluindo uma testemunha sem aplicação e uma testemunha capinada (Tabela 1), sendo que os tratamentos referentes as aplicações, foram constituídos com diferentes doses do glyphosate comercialmente formulado com o sal de isopropilamina (360 g e.a L^{-1}).

As plantas daninhas identificadas através de levantamento fitossociológico, encontravam-se na fase vegetativa entre 3-4 folhas no momento da aplicação dos herbicidas. As parcelas experimentais apresentavam 6 linhas com comprimento de 7 metros e espaçadas entre si com 0,50 metro. Para área útil considerou-se às duas linhas centrais de cada parcela, desprezando 1 metro nas extremidades de cada linha totalizando uma área útil de 5 m^2 por parcela.

Tabela 1 – Tratamentos aplicados na cultura da soja, cultivar CD 2857, com respectivas doses e estágio de desenvolvimento da cultura no momento da aplicação. Formoso do Araguaia – TO, 2015.

Tratamentos	Produto Comercial (L ha ⁻¹)	Equivalente Ácido (g ha ⁻¹)	Estádio de desenvolvimento
1) Testemunha	-	-	-
2) Testemunha capinada	-	-	-
3) Glyphosate	0,5	180	V4
4) Glyphosate	1,0	360	V4
5) Glyphosate	1,5	540	V4
6) Glyphosate	2,0	720	V4
7) Glyphosate	2,5	900	V4
8) Glyphosate	3,0	1.080	V4
9) Glyphosate	3,5	1.260	V4
10) Glyphosate	4,0	1.440	V4
11) Glyphosate	4,5	1.620	V4
12) Glyphosate	5,0	1800	V4
13) Glyphosate	5,5	1980	V4

P.C = Produto Comercial; E.A = Equivalente Ácido.

Momentos antes das aplicações, 0 dias após as aplicações dos tratamentos (DAA), e aos 21 dias após as aplicações dos tratamentos (DAA) foi realizado um levantamento fitossociológico das plantas daninhas presentes na área afim de se obter as densidades das espécies encontradas na área. Para caracterização e estudo fitossociológico da comunidade infestante foi utilizado como unidade amostral um quadro (1,0 x 1,0 m), lançando-se um quadro por parcela de forma aleatoriamente dentro de cada parcela experimental estudada (método do quadrado inventário), por meio de um caminamento em ziguezague (ERASMO et al., 2004).

As aplicações dos tratamentos foram realizadas utilizando-se um pulverizador costal pressurizado a CO₂, com pressão constante, munido de seis pontas XR 110015 BD, espaçadas de 0,5 metro e volume de calda de 150 L ha⁻¹. Durante as aplicações a umidade relativa do ar manteve-se em 76%, temperatura em 29 °C e velocidade do vento variando de 2 a 3 km h⁻¹.

As avaliações de fitotoxicidade à cultura foram realizadas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA) nas linhas centrais do experimento, empregando a escala visual onde 0%= Sem sintoma de fitotoxicidade e 100% = Morte total da planta (EWRC, 1964). As avaliações de controle foram efetuadas aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), empregando-se a escala percentual, onde 0% representa nenhum controle

e 100% ao controle total das plantas daninhas comparados à testemunha sem capina (EWRC, 1964).

No estágio reprodutivo R1, foram coletadas 10 plantas de forma aleatória dentro de cada parcela, as plantas foram cortadas rentes ao solo e separadas em parte aérea e raiz. A parte aérea e raiz foram separadas e lavadas, todo o material foi colhido e colocado em sacos de papel dentro de estufa de circulação forçada a 65 – 70 °C até peso constante, a fim de determinar a massa seca. As pesagens foram realizadas com uma balança de precisão, calculando-se as massas seca de parte aérea (MSPA) e de raiz (MSR), sendo os resultados expressos em gramas planta⁻¹.

Com base na área útil da parcela, durante o estágio reprodutivo R6 foram coletadas 10 plantas por parcela, para serem avaliados os seguintes atributos agrônômicos: Altura da planta (AP) – distância em centímetros, medida a partir da superfície do solo até a extremidade da haste principal da planta, na época da maturação, em 10 plantas da área útil; Altura da primeira vagem (APV) – distância em centímetros, medida a partir da superfície do solo até a inserção da primeira vagem; (NV) – Média do número de vagens planta⁻¹ de 10 plantas coletadas da área útil.

As plantas de cada parcela foram colhidas e trilhadas no estágio reprodutivo R8, de acordo com a escala de Fehr et al., (1971), quando apresentaram o mínimo de 95% das vagens maduras. Na ocasião da colheita, avaliou-se a massa de 1.000 grãos (MMG) – determinada com a pesagem de duas amostras de 1.000 grãos por parcela, após a correção da umidade para 13%, e a produtividade de grãos (PG) – obtida por meio da massa correspondente a cada parcela, convertida em kg ha⁻¹, após correção da umidade para 13%.

As médias dos dados foram submetidas à análise de variância, realizou-se a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para todas as variáveis estudadas, utilizando-se do programa software SISVAR (FERREIRA et al., 2011).

RESULTADOS

Na área de produção de soja onde foi instalado o experimento (Tabela 2), através do levantamento fitossociológico realizado, foram identificadas 2 famílias de plantas daninhas, Amaranthaceae (*Amaranthus retroflexus*) e Cyperaceae (*Cyperus esculentus* e *Cyperus iria*). As espécies com maiores densidades foram *Cyperus esculentus* e *Cyperus iria* apresentando médias de 13,96 e 7,38 indivíduos por m². No entanto observou-se para todas as espécies avaliadas que aos 0 DAA não houve diferença significativa quanto as densidades de indivíduos por m² nos diferentes tratamentos, evidenciando boa distribuição espacial das plantas daninhas na área experimental.

Constataram-se diferenças significativas no controle das plantas daninhas aos 7 DAA do herbicida glyphosate, com maiores controles na maior dose (1.980 gramas de e.a ha⁻¹), no entanto, este controle foi inferior 35% em relação à testemunha capinada. Todos os tratamentos que receberam a aplicação do herbicida glyphosate obtiveram resultados inferiores a 70% no controle das plantas daninhas nesta avaliação.

Aos 14 DAA, observaram-se diferenças significativas para o controle das plantas daninhas, os maiores controles corresponderam aos tratamentos 1.800 e 1.980 gramas de e.a ha⁻¹, (em média 81,25%)

Observou-se 21 DAA controles acima de 80 % somente em doses superiores a 900 gramas de e.a ha⁻¹, diferindo significativamente das outras doses. Destacou-se a dose de 1.980 gramas de e.a ha⁻¹ que foi igual estatisticamente à testemunha capinada.

Através do levantamento fitossociológico realizado aos 21 DAA, foi possível obter as densidades das plantas daninhas nos diferentes tratamentos, notou-se diferenças significativas para as densidades de *Amaranthus retroflexus*, *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus* na testemunha sem capina quando comparada à testemunha capinada e aos tratamentos que receberam aplicação do herbicida glyphosate, exceto para o tratamento com a dose de 180 gramas de e.a ha⁻¹ que foi estatisticamente igual à testemunha sem capina na densidade de *Cyperus esculentus*. No tratamento sem capina foram identificadas densidades de 6,25, 8,0 e 15,0 plantas por m², para as espécies *Amaranthus retroflexus*, *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus*, respectivamente.

Tabela 2 – Valores médios para as densidades de *Amaranthus retroflexus*, *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus* aos 0 e 21 DAA (Após a aplicação dos tratamentos) e controle das plantas daninhas aos 7, 14 e 21 DAA em condições de várzea sistematizada. Cultivar de soja CD 2857 RR. Formoso do Araguaia – TO, 2015.

Tratamentos	Densidade (m ²) aos 0 DAA			Controle (%)			Densidade (m ²) aos 21 DAA		
	<i>A. retroflexus</i>	<i>C. iria</i>	<i>C. esculentus</i>	7 DAA	14 DAA	21 DAA	<i>A. retroflexus</i>	<i>C. iria</i>	<i>C. esculentus</i>
Glyphosate (1.980 e.a)	4,75 a	4,50 a	18,25 a	65,00 b	81,25 b	96,50 ab	0,00 b	0,00 c	1,00 e
Glyphosate (1.800 e.a)	3,75 a	6,50 a	16,25 a	63,00 bc	81,25 b	92,25 bc	0,00 b	0,00 c	2,00 de
Glyphosate (1.620 e.a)	5,50 a	8,75 a	12,50 a	58,00 bcd	78,25 bc	91,25 bc	0,00 b	0,75 c	1,75 de
Glyphosate (1.440 e.a)	3,75 a	6,50 a	13,50 a	55,00 cde	72,50 bcd	90,00 cd	0,00 b	1,00 c	1,50 de
Glyphosate (1.260 e.a)	3,75 a	7,50 a	13,00 a	51,00 de	71,25 cde	87,50 cde	0,00 b	0,50 c	2,50 de
Glyphosate (1.080 e.a)	5,00 a	9,00 a	11,75 a	48,00 ef	68,75 de	84,75 de	0,00 b	1,00 c	3,00 de
Glyphosate (900 e.a)	6,25 a	7,00 a	14,25 a	41,00 fg	66,25 de	83,75 e	0,00 b	2,00 bc	2,50 de
Glyphosate (720 e.a)	6,00 a	7,50 a	13,00 a	40,00 fg	63,25 e	77,50 f	0,00 b	2,00 bc	4,00 cde
Glyphosate (540 e.a)	5,25 a	7,25 a	13,50 a	37,50 gh	53,75 f	71,25 g	0,00 b	2,25 bc	5,25 cd
Glyphosate (360 e.a)	5,75 a	8,25 a	14,00 a	30,00 h	51,25 f	58,75 h	0,00 b	3,75 b	7,75 bc
Glyphosate (180 e.a)	7,00 a	9,25 a	13,25 a	11,25 j	28,75 g	43,75 i	1,00 b	4,25 b	11,25 ab
Testemunha capinada	7,25 a	7,25 a	14,50 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	0,00 b	0,00 c	0,00 e
Testemunha sem capina	5,25 a	6,75 a	13,75 a	0,00 j	0,00 h	0,00 j	6,25 a	8,00 a	15,00 a
DMS	6,65	9,60	10,49	11,15	10,40	6,87	1,55	2,88	4,20
F calculado	1,44 ^{NS}	0,71 ^{NS}	1,40 ^{NS}	174,36**	209,16**	557,13**	50,62**	22,13**	27,35**
C.V (%)=	36,07	40,77	20,34	8,22	5,63	3,10	49,33	42,29	38,07

As médias seguidas de uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS} não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade e * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para variável fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 DAA (Tabela 3), observou-se que a maior dose do herbicida glyphosate (1.980 gramas de e.a ha⁻¹) ocasionou o maior efeito fitotóxico, com valores inferiores a 17% aos 21 DAA. Os efeitos de fitotoxicidade foram verificados a partir da dosagem de 1.080 gramas de e.a ha⁻¹, não havendo efeito nas dosagens menores. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2007) sobre a soja CD 219 RR aos 15 dias após a aplicação de Roundup Ready (intoxicação de 25%).

A massa seca da parte aérea da cultivar avaliada foi reduzida significativamente em todos os tratamentos onde foi aplicado glyphosate, quando comparada com à testemunha capinada (Tabela 3). Nas doses de 1.800 e 1.980 gramas de e.a ha⁻¹, constataram-se reduções na ordem de 97,93 e 110,90% no acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas de soja, as quais não diferiram significativamente da testemunha sem capina. Observou-se que a falta de controle das plantas daninhas (testemunha sem capina) promoveu uma redução significativa no acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas de soja, correspondente a 127,82% em relação à testemunha capinada.

A massa seca da raiz da cultivar avaliada foi reduzida pelas doses de glyphosate diferindo significativamente da testemunha capinada (Tabela 3). A aplicação da maior dose (1.980 gramas de e.a ha⁻¹) de glyphosate promoveu redução de 146,39% no acúmulo de massa seca de raiz das plantas de soja quando comparada à testemunha capinada, valor igual ao promovido pela testemunha sem capina. Doses acima de 1.260 e.a ha⁻¹ não diferiram do tratamento sem capina.

Tabela 3 – Valores médios de fitotoxicidade aos 7, 14 e 21 DAA, massa seca (gramas planta⁻¹) da parte área (MSPA) e massa seca (gramas planta⁻¹) de raiz (MSR) coletadas no estádio reprodutivo R1. Cultivar de soja CD 2857 RR. Formoso do Araguaia – TO, 2015.

Tratamentos	Fitotoxicidade (%)			MSPA (g planta ⁻¹)	MSR (g planta ⁻¹)
	7 DAA	14 DA	21 DAA		
Glyphosate (1.980 e.a)	17,50 a	24,50 a	17,00 a	14,95 f	1,94 d
Glyphosate (1.800 e.a)	13,00 b	19,00 b	12,75 b	15,93 f	2,15 d
Glyphosate (1.620 e.a)	9,50 c	13,25 c	9,00 c	18,84 de	2,11 d
Glyphosate (1.440 e.a)	7,50 d	9,75 cd	6,00 d	18,67 e	2,29 d
Glyphosate (1.260 e.a)	6,50 de	7,75 d	2,00 e	19,78 cde	2,32 d
Glyphosate (1.080 e.a)	5,00 e	6,25 d	2,00 e	20,13 cde	3,10 c
Glyphosate (900 e.a)	0,00 f	0,00 f	0,00 e	21,42 c	3,26 bc
Glyphosate (720 e.a)	0,00 f	0,00 f	0,00 e	23,98 b	3,73 b
Glyphosate (540 e.a)	0,00 f	0,00 f	0,00 e	21,72 bc	3,53 bc
Glyphosate (360 e.a)	0,00 f	0,00 f	0,00 e	21,15 cd	3,12 c
Glyphosate (180 e.a)	0,00 f	0,00 f	0,00 e	20,35 cde	3,06 c
Testemunha capinada	0,00 f	0,00 f	0,00 e	31,53 a	4,78 a
Testemunha sem capina	0,00 f	0,00 f	0,00 e	13,84 f	1,94 d
DMS	2,23	4,16	3,03	2,89	0,48
F calculado	123,59**	139,20**	245,19**	82,43**	105,33**
C.V (%) =	16,67	22,80	27,48	4,86	5,65

As médias seguidas de uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS} não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade e * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A elevação das doses de glyphosate reduziram a altura das plantas (Tabela 4), diferindo estatisticamente da testemunha capinada, somente as doses superiores a 1.400 e.a ha⁻¹. A menor média foi observada na dose de 1.980 gramas de e.a ha⁻¹ de glyphosate, onde constataram-se redução na altura de 26,80%, quando comparada à testemunha capinada. Notou-se que as plantas da testemunha sem capina, mesmo sem apresentar diferença significativa foram 4,62% superiores em altura quando comparadas à testemunha capinada, provavelmente pelo estiolamento provocado pela presença das plantas daninhas.

Para variável altura de inserção da primeira vagem (Tabela 4), constataram-se diferenças significativas somente entre as doses 1.800 e 1.980 gramas de e.a ha⁻¹ e a testemunha sem capina.

Diferenças estatísticas em relação ao número de vagens planta⁻¹, somente foram constatadas nas doses superiores a 1.260 gramas de e.a ha⁻¹ e à testemunha sem capina (Tabela 4), verificando-se decréscimos no número de vagens de 61,27%, entre a maior dose de glyphosate aplicada (1.980 gramas de e.a ha⁻¹) e à testemunha capinada. Este valor foi superior ao provocado pela competição das plantas daninhas no tratamento sem capina

(57,42%) comparado à testemunha capinada. Albrecht et al., (2011) testando dose de Roundup Ready em diferentes estádios fenológicos concluiu que independentemente das doses serem aplicadas no reprodutivo ou no vegetativo (V6), a elevação nas doses de glyphosate diminuiu o número de vagens planta⁻¹, sendo esta variável altamente correlacionada com a produtividade de grãos. A diminuição na retenção de vagens, pode está associada aos efeitos deletérios do glyphosate que de alguma forma afetou a fotossíntese das plantas devido seu acúmulo nos tecidos foliares.

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos na variável massa de 1.000 grãos (Tabela 4). Evidenciando que esta variável é uma característica determinada geneticamente, porém, fortemente influenciado pelo ambiente (NAVARRO JUNIOR; COSTA, 2002). Como o presente trabalho foi desenvolvido em condições de várzea sistematizada em nenhum momento durante o ciclo as plantas de soja passaram por um período de estresse hídrico, a mesma teve as condições ideais para expressar suas características genéticas.

A produtividade de grãos da cultura da soja foi significativamente inferior à testemunha capinada (Tabela 4), nas doses de glyphosate superiores a 1.260 gramas de e.a ha⁻¹ e na dose de 180 gramas de e.a ha⁻¹. A aplicação de 1.980 gramas de e.a ha⁻¹, reduziu de forma significativa a produtividade de grãos em 21,74% em relação à testemunha capinada.

Tabela 4 – Valores médios da altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens (NV) coletados de plantas no estágio reprodutivo R6 e massa de 1.000 grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG). Cultivar de soja CD 2857 RR. Formoso do Araguaia – TO, 2015.

Tratamentos	AP (cm)	APV (cm)	NV planta ⁻¹	MMG (g)	PG (Kg ha ⁻¹)
Glyphosate (1.980 e.a)	55,83 c	12,75 b	30,26 b	182,06 a	3.197,56 cd
Glyphosate (1.800 e.a)	58,00 bc	13,25 b	30,31 b	184,89 a	3.229,60 cd
Glyphosate (1.620 e.a)	60,07 bc	13,96 ab	30,80 b	187,57 a	3.255,12 bcd
Glyphosate (1.440 e.a)	60,98 bc	14,50 ab	33,50 b	187,20 a	3.296,36 bcd
Glyphosate (1.260 e.a)	61,20 abc	14,37 ab	34,50 b	188,72 a	3.314,19 bcd
Glyphosate (1.080 e.a)	62,66 abc	14,58 ab	35,83 ab	188,33 a	3.405,23 abcd
Glyphosate (900 e.a)	63,75 abc	16,25 ab	39,83 ab	189,20 a	3.703,91 abc
Glyphosate (720 e.a)	69,67 ab	16,22 ab	42,50 ab	190,86 a	3.792,58 ab
Glyphosate (540 e.a)	67,42 abc	15,81 ab	40,00 ab	189,75 a	3.445,08 abc
Glyphosate (360 e.a)	64,17 abc	15,90 ab	36,00 ab	188,27 a	3.383,26 abcd
Glyphosate (180 e.a)	63,33 abc	16,00 ab	35,33 ab	187,08 a	3.335,97 bcd
Testemunha capinada	70,79 ab	16,25 ab	48,80 a	193,52 a	3.892,58 a
Testemunha sem capina	74,06 a	18,15 a	31,00 b	181,51 a	2.901,83 d
DMS	15,32	4,80	16,48	15,80	637,42
F calculado	4,04**	2,39*	3,86**	1,09 ^{NS}	6,06**
C.V (%) =	8,14	12,59	15,53	3,36	6,38

As médias seguidas de uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS} Não significativo; ** Significativo a 1% de probabilidade e * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

DISCUSSÃO

As áreas de várzeas por apresentarem boas condições de fertilidade e umidade, favorecem o surgimento de diversas espécies daninhas típicas deste ambiente, as quais competem pelos mesmos fatores de crescimento das culturas, acarretando perdas na produção e qualidade de grãos, motivo pelo qual são alvos de controle. Observou-se que na área onde o trabalho foi desenvolvido destacaram-se duas famílias (Amaranthaceae e Cyperaceae), e três espécies (*Amaranthus retroflexus*; *Cyperus esculentus* e *Cyperus iria*), sendo a *C. esculentus* a que apresentou maior densidade (média de 13,96 plantas m⁻²). Erasmo et al. (2004), realizando levantamento fitossociológico em várzea sistematizada no município de Formoso do Araguaia – TO, em área de produção de arroz irrigado rotacionado com a cultura da soja há mais de cinco anos, identificou 8 famílias e 12 espécies, destacando-se as famílias Poaceae e Cyperaceae, sendo que a espécie *Cyperus esculentus* apresentou densidade de 52,20 plantas m⁻², resultado este superior ao encontrado no presente trabalho. A menor densidade de *Cyperus esculentus* observada no presente trabalho pode estar relacionada aos poucos anos de cultivo de soja em rotação com o arroz irrigado. A utilização de um mesmo sistema de cultivo em uma determinada área por vários anos consecutivos pode aumentar a pressão de seleção sob as comunidades de plantas daninhas, selecionando as espécies mais adaptadas ao sistema de cultivo, bem como favorecer o surgimento de plantas resistentes a herbicidas.

O controle das plantas daninhas *Amaranthus retroflexus*, *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus* aumentou no decorrer das avaliações de controle, caracterizando o efeito sistêmico e ação lenta do herbicida glyphosate, típico ao seu mecanismo de ação. Essas espécies daninhas são suscetíveis ao herbicida glyphosate, deste modo, obtém-se elevados índices de controle das mesmas ao ser aplicado no momento certo. Em trabalho desenvolvido por três anos, Edenfield et al. (2005) relataram que o glyphosate proporcionou controle de 97% de espécies de plantas daninhas pertencentes a família das Cyperaceae, aos 80 dias após a semeadura da soja, e redução de 71% no número de tubérculos, no primeiro ano. No terceiro ano, o controle foi de 99% e o número de tubérculos decresceu 99%. A aplicação foi realizada em plantas de 15 a 20 cm de altura, indicando que o controle de espécies problemáticas a outros herbicidas, porém, sensíveis ao glyphosate, como *Cyperus rotundus*, foi facilitado no sistema de soja geneticamente modificado.

A densidade das plantas daninhas *Amaranthus retroflexus*, *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus* obtida através do levantamento fitossociológico aos 21 DAA nos diferentes

tratamentos, mostraram que o *Amaranthus retroflexus* foi controlado pelo herbicida glyphosate, enquanto as espécies *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus* permaneceram em maior densidade nas doses mais baixas (180 e 360 gramas de e.a ha⁻¹).

Os resultados demonstram que a fitotoxicidade da aplicação de glyphosate causada na cultivar de soja CD 2857 RR, ocasionou um amarelecimento e descoloração das folhas de soja, sendo que às injúrias diminuíram com o passar do tempo. Em função dos efeitos ocasionados pelo glyphosate sobre as plantas ocorrer de maneira gradual, algumas situações podem ultrapassar a terceira semana após a aplicação. Observou-se no presente trabalho que após os 14 dias da aplicação as injúrias nas plantas de soja reduziram, de forma que ao longo do seu ciclo de desenvolvimento as plantas recuperam-se.

A forte injúria na soja RR está correlacionada com os níveis de AMPA formado dentro da planta (ZABLOTOWICZ; REDDY, 2007), sendo este fato em função do menor período de detoxificação do glyphosate ou de um de seus metabólitos entre eles o ácido aminometilfosfônico (AMPA) (REDDY et al., 2004). Duke et al. (2003) afirmam que o AMPA é um composto medianamente tóxico à soja, com modo de ação aparentemente diferente do glyphosate, porém menos fitotóxico do que a molécula original, sendo apenas comprovado que injúrias como a redução nos níveis de clorofila e a redução no crescimento das plantas podem ser causadas pela degradação do glyphosate em AMPA (ALBRECHT & ÁVILA, 2010).

Uma outra possível explicação dos efeitos tóxicos do glyphosate podem estar relacionados ao tipo de sal presente na formulação do produto. Reddy & Zablotowicz (2003) observaram que o sal de isopropilamina, presentes também nas formulações Roundup Transorb, Roundup Ready e Roundup Original se acumulam em maiores proporções nos nódulos radiculares da soja transgênica em concentrações bem acima das observadas para o sal trimetilsulfônico e diamônio, caracterizando maior efeito fitotóxico para as plantas de soja.

A massa seca da parte aérea e da raiz foram influenciadas negativamente pelas doses do herbicida glyphosate e pela competição das plantas daninhas *Amaranthus retroflexus*, *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus* que conviveram com a cultura da soja durante a fase vegetativa, na testemunha sem capina.

Qualquer produto químico que altera o metabolismo foliar afetará o nível intermediário (3-fosfoglicerato) do Ciclo de Calvin (IRELAND et al., 1986). Diminuições na assimilação do CO₂ levam a redução na biomassa e no acúmulo de carboidratos (MAGALHÃES FILHO et al., 2008). Com o aumento da dose de glyphosate a raiz e parte

aérea foram afetadas. Distante da aplicação do herbicida, sugere que o glyphosate ou seus metabólitos possuem efeitos persistentes na fisiologia das plantas. De acordo com Zablutowicz; Reddy, (2007), relataram que a molécula do glyphosate pode permanecer na planta até a completa maturação fisiológica.

Reddy et al. (2000) também encontraram redução da matéria seca tanto da parte aérea quanto do sistema radicular de plantas de soja RR tratadas com glyphosate em comparação com a testemunha sem herbicida, mostrando assim a existência de certa injúria que o glyphosate ocasionou sobre plantas de soja RR tratadas com doses variando de 1,12 a 2,24 kg ha⁻¹ de glyphosate a base de isopropilamina. Zobiolo et al. (2010b) relataram que com o aumento da dose aplicada de glyphosate na cultivar BRS 242 RR, a biomassa da raiz e parte aérea foram afetadas, provavelmente por efeitos negativos ocasionados a fotossíntese.

Zobiolo et al. (2010a) observaram que a aplicação única de glyphosate de 1.200 gramas de e.a. ha⁻¹ em diferentes cultivares de soja RR, teve maior efeito na produção de biomassa que as aplicações sequenciais (600 + 600 gramas de e.a. ha⁻¹), plantas de soja RR que receberam aplicação única com doses comerciais de glyphosate (600 a 1.200 gramas de e.a. ha⁻¹) precisaram de 13% a 20% mais água para produzir a mesma quantidade de biomassa seca em comparação as plantas que não receberam aplicação de glyphosate.

Possivelmente o efeito depressivo das maiores doses de glyphosate nas variáveis avaliadas podem estar ligadas ao processo de degradação do glyphosate dentro da planta, que resulta na formação do ácido aminometilfosfônico (AMPA). A formação de AMPA dentro da planta depende da taxa de glyphosate aplicado, do genótipo e das condições ambientais. A aplicação tardia do herbicida glyphosate no presente trabalho e em doses altas no estágio vegetativo V4, podem ter ocasionado um maior estresse do herbicida nas plantas de soja. De acordo com (ZABILOLE et al., 2010b) sugeri que as aplicações de glyphosate devem ser realizadas de forma mais precoces durante o estágio vegetativo V2, para que as plantas provavelmente possuem mais tempo de recuperação dos efeitos do glyphosate.

De acordo com Radosevich & Holt (1984), à medida que se aumenta a densidade e o desenvolvimento das plantas daninhas, especialmente daquelas que germinaram e emergiram no início do ciclo de uma cultura, como a da soja, intensifica-se a competição interespecífica e intra-específica, de modo que as plantas daninhas mais altas e desenvolvidas se tornam dominantes, ao passo que as menores são suprimidas ou morrem. Esse comportamento de uma comunidade infestante justifica a redução da densidade das plantas com o aumento da massa da matéria seca nos períodos de desenvolvimento finais da soja.

A produtividade de grãos foi influenciada de forma significativa pela elevação das doses do herbicida glyphosate, a partir de 1.260 gramas de e.a ha⁻¹, quando comparada à testemunha capinada. Assim como, a competição das plantas daninhas, na parcela sem capina e nas menores doses de glyphosate. Os menores valores de vagens planta⁻¹, associados com os valores reduzidos de massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), ocasionados pelas elevadas doses de glyphosate contribuíram de forma significativa para a redução da produtividade de grãos. Serra et al. (2011) relataram que o estresse fisiológico sofrido pelas plantas de soja da cultivar P98R31 RR, após a aplicação de glyphosate, mesmo visualmente se recuperando, provocou menor produção de massa seca da parte aérea o que influencia diretamente a produtividade de final de grãos. De acordo com Reddy e Zablotowicz (2003), as injúrias provocadas nas plantas de soja são causadas pela porção de sal presente na formulação comercial do herbicida que após a exposição em uma dose elevada, pode causar estresse afetando diretamente os aspectos fisiológicos das plantas de soja, diminuindo seu potencial produtivo.

Notou-se que a competição das plantas daninhas *Amaranthus retroflexus*, *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus* presentes na testemunha sem capina, reduziu de forma significativa a produtividade final de grãos, ocasionando uma perda de 34,14% quando comparada à testemunha capinada. As espécies pertencentes ao gênero *Cyperus* destacam-se entre as principais plantas daninhas nas áreas de várzea, sendo responsáveis por perdas de produtividade das culturas de interesse estabelecidas em áreas de várzea sistematizada no Tocantins.

Dentre as ciperáceas, *Cyperus esculentus*, vulgarmente chamada de tiririca-amarela, é a mais adaptada às várzeas úmidas (ERASMO et al., 2003), sendo que sua propagação ocorre por sementes e tubérculos, o que dificulta o seu controle. Além da competição direta, a espécie afeta culturas pela liberação de compostos fenólicos com efeitos alelopáticos que podem suprimir o desenvolvimento da cultura (KISSMANN, 2007). A importância e a presença da família Cyperaceae em áreas de várzea já foram demonstradas em estudos fitossociológicos realizados em áreas com rotação arroz irrigado – soja, onde *Cyperus esculentus* foi a espécie com o maior índice de importância relativa (91,40%) (ERASMO et al., 2004).

Devido ao ciclo de vida curto das Ciperáceas estas apresentaram uma competição bastante intensa no ciclo inicial da cultura da soja, principalmente pelos recursos presentes no solo, no entanto por serem plantas de porte baixo e bastante sensível ao sombreamento após o

fechamento das entrelinhas das plantas de soja, sua influência diminui, passando o *Amaranthus retroflexus* a exercer sua maior capacidade de competição.

As plantas daninhas do gênero *Amaranthus* são espécies com ciclo fotossintético do tipo C_4 , o que lhes proporciona maior eficiência na produção de carboidratos, principalmente quando comparada com culturas tipicamente C_3 , como a soja (KISSMANN, 2007). Com uma densidade de 6,00 plantas m^2 , o *Amaranthus retroflexus* conseguiu se estabelecer, competindo com a cultura da soja. Por ser uma planta ereta e robusta que pode chegar a mais de 1,5 metro de altura, mesmo após o fechamento das entrelinhas da soja o *Amaranthus retroflexus* manteve-se até o final do ciclo da soja competindo de forma eficiente, sendo um dos fatores que contribuiu para a redução da produtividade final de grãos. Por apresentar um mecanismo fotossintético C_3 o *Amaranthus retroflexus* leva vantagem principalmente em ambientes quentes e úmidos, baixo ponto de compensação de CO_2 , elevada taxa de fotossíntese quando em ambiente de alta disponibilidades de luz e baixa taxa de fotorrespiração (PAUL; EMORE 1984). Essas características podem explicar o vigoroso crescimento vegetativo e o rápido ciclo reprodutivo da espécie em área de várzea, contribuindo para que a espécie conclua seu ciclo de vida antes que a cultura da soja, garantindo captura de recursos de crescimento do meio e o aumento no banco de sementes.

CONCLUSÕES

- Doses do herbicida glyphosate a partir de 1.260 gramas de e.a ha⁻¹ proporcionaram controle das plantas daninhas acima de 85% aos 21 DAA.
- Doses do herbicida glyphosate a partir 1.440 gramas de e.a ha⁻¹ ocasionaram fitotoxicidade as plantas de soja.
- Todas as doses do herbicida glyphosate proporcionaram reduções na massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR).
- Doses do herbicida glyphosate a partir de 1.260 gramas de e.a ha⁻¹ reduziram o número de vagns planta⁻¹ e a produtividade de grãos.
- A competição das plantas daninhas *Amaranthus retroflexus*, *Cyperus iria* e *Cyperus esculentus* influenciaram de forma negativa os parâmetros massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R. Manejo de glyphosate em soja RR e a qualidade das sementes. *Inf. Abrates*, v. 20, n. 1,2, p. 45-54, 2010.
- ALBRECHT, L.P, BARBOSA, A.P, SILVA, A.F.M, MENDES, M.A, MARASCHI-SILVA, L.M, & ALBRECHT, A.J.P. (2011). Desempenho da soja roundup ready sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p. 585-590.
- BOTT, S.; TESHAMARIAM, T.; CANDAN, H.; CAKMAK, I.; ROMHELD, V.; NEUMANN, G. Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Plant and Soil**, v.312, n.2, p.185-194, 2008.
- DUKE, S.O.; RIMANDO, A.M.; PACE, P.F.; REDDY, N.K.; SMEDA, R.J. Isoflavone, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid levels in seeds of glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 51, p. 340-344, 2003.
- EDENFIELD, M.W.; BRECKE, B.J.; COLVIN, D.L.; DUSKY, J.A.; SHILLING, D.G. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) control with glyphosate in soybean and cotton. **Weed Technology**, v.19, p.947-953, 2005.
- ERASMO, E. A. L.; COSTA, N. V.; PINHEIRO, L. L. A.; SILVA, J. I. C.; TERRA, M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. Efeito da densidade e dos períodos de convivência de *Cyperus esculentus* na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.21, n.3, p.381-386, 2003.
- ERASMO, E.A.L.; PINHEIRO, L.L.A.; COSTA, N.V. Levantamento fitossociológico das comunidades de plantas infestantes em áreas de produção de arroz irrigado cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Planta daninha** [online]. 2004, vol.22, n.2, pp.195-201.
- EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of the 3rd, and 4th meetings of EWRC. Comittee of methods in Weed Research. **Weed Res.**, v. 4, p. 88, 1964.
- FEHR, W.E.; CAVINES, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptors for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science.**, v.11, p.929-931, 1971.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia** Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GRAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F.; VOLL, E. Glifosate e a soja transgênica. **Circular Técnica**, Londrina, 2008. 4p.
- IRELAND, C.R.; PERCIVAL, M.P.; BAKER, N.R. Modification of the induction of photosynthesis in wheat by glyphosate, an inhibitor of amino acid metabolism. **Journal of Experimental Botany**, v.37, p.299-308, 1986.

LYDON, J.; DUKE, S.O. Pesticide effects on secondary metabolism of higher plants. **Pesticide Science**, v. 25, p. 361-373, 1989.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. Tomo I. 3ª ed. São Paulo: Basf Brasileira S. A., 2007. CD-ROM.

KREMER, R.J.; MEANS, N.E.; KIM, S. Glyphosate affects soybean an root exudation and rhizosphere micro-organims. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, v. 85, n. 15, p. 1165-1174, 2005.

KRUZE, N.D.; TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A. Herbicidas inibidores da EPSPs: Revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 2, p. 139-146, 2000.

MAGALHÃES FILHO, J.R.; AMARAL, L.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira “Valencia” sobre dois tipos de porta enxerto. **Bragantia**, v.67, n.1, p.75-82, 2008.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p.

MARÍA, N.; BECERRIL, J.M.; GARCIA-PLAZAOLA, J.I.; HERNÁNDEZ, A.; FELIPE, M.R.; FERNÁNDEZ-PASCUAL, M. New insights on glyphosate mode of action in nodular metabolism: role of shikimate accumulation. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, n. 54, p. 2621-2628, 2006.

NAVARRO JUNIOR, H.M.; COSTA, J.A.; Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 269-274, 2002.

NEUMANN, G.; KOHLS, S.; LANDSBERG, E.; STOCK-OLIVEIRA, K.S.; YAMADA, T.; RÖMHELD, V. Relevance of glyphosate transfer to non-target via the rhizosphere. **Journal of Plant Diseases and Protection**. Special Issue, v. 20, p. 963-969, 2006.

PADGETTE, S.R.; KOLACZ, K.H.; DELANNAY, X.; RE, D.B.; LAVALLEE, B.J.; TINIUS, C.N.; RHODES, W.K.; OTERO, Y.I.; BARRY, G.F.; EICHHOLTZ, D.A.; PESCHKE, V.M.; NIDA, D.L.; TAYLOR, N.B.; KISHORE, M.G. Development, identification, and characterization of a glyphosate-tolerant soybean line. **Crop Science**, v.35, p.1451-1461, 1995.

PAUL, R.; ELMORE, C.D. Weeds and the C4 syndrome. **Weeds Today**, Champaign, v. 15, n. 1, p. 3-4, 1984.

PETTER, F.A.; PROCÓPIO, S.O.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BARROSO, A.L.L.; PACHECO L.P. Manejo de herbicidas na cultura da soja Roundup Ready®. **Planta daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 165-171, 2007.

RADOSEVICH, S. R.; HOLT, J. S. **Weed ecology**: implications for vegetation management. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 263 p.

REDDY, K. N.; HOAGLAND, R. E.; ZABLOTOWICZ, R. M. Effect of glyphosate on growth, chlorophyll content and nodulation in glyphosate-resistant soybeans (*Glycine max*) varieties. **Journal of New Seeds**, v. 2, n. 1, p. 37-52, 2000.

REDDY, K. N.; ZABLOTOWICZ, R. M. Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. **Weed Science**, v. 51, p. 496-502, 2003.

REDDY, K.N.; RIMANDO, A.M.; DUKE, S.O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.52, p.5139-5143, 2004.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; CANDIDO, A. C. S.; DIAS, A. C. R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Influência do glyphosato na eficiência nutricional do nitrogênio, manganês, ferro, cobre e zinco em soja resistente ao glyphosato. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n.1, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Fisiologia vegetal**. 3.ed.Tradução E. R. Santarém. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Mineral Nutrition. In: Plant Physiology. Sinauer Associates, Sunderland, p. 111-144. 1998.

YAMADA, T; CASTRO, P.R.C. Efeito do glyphosato nas plantas: implicações e agronômicas. Informações Agronômicas. Piracicaba: **Potafos**, 2007. Página 6. (Número 119).

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Crop Protection**, v.26, p. 370-376, 2007.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; KREMER, R.J.; CONSTANTIN, J.; YAMADA, T.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Effect of glyphosate on symbiotic N₂ fixation and nickel concentration in glyphosate-resistant soybeans. **Applied Soil Ecology**, v. 44, p. 176-180, 2010a.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR, R.S.; KREMER, R.J.; CONSTANTIN, J.; BONATO, C.M.; MUNIZ, A.S. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, 2010b, v.97, p.182-193.

CAPÍTULO 02

Influência do glyphosate nos parâmetros fisiológicos da soja RR em condições de várzea sistematizada

Francisco de Carvalho Ribeiro, Eduardo Andrea Lemus Erasmo

RESUMO

A soja é a espécie mais cultivada no mundo com uma área de produção global que continua crescendo a cada ano, principalmente pelo amplo uso de glyphosate no atual sistema de manejo de plantas daninhas baseado na soja resistente ao glyphosate ou Roundup Ready®. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar os parâmetros fisiológicos da soja RR tratadas com diferentes doses de glyphosate. O trabalho foi conduzido em condições de várzea sistematizada, em área de segundo ano de soja sistema de produção rotacionado (Arroz - Soja) na Fazenda Cereais Vale do Javaés situada no município de Formoso do Araguaia – TO. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições. O experimento foi constituído de treze tratamentos sendo 11 doses do herbicida glyphosate, (180, 360, 540, 720, 900, 1.080, 1.260, 1.440, 1.620, 1.800 e 1.980 gramas de e.a ha⁻¹), uma testemunha capinada e uma testemunha sem capina. As avaliações fisiológicas foram realizadas 24 horas após as aplicações do herbicida glyphosate, no estágio vegetativo V4, os parâmetros fotossintéticos como fotossíntese (A), condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E) e a concentração interna de CO₂ (Ci). A dose de 1.980 gramas de e.a ha⁻¹ do herbicida glyphosate influenciou na redução da fotossíntese (A). Doses superiores a 1.620 gramas de e.a ha⁻¹ do herbicida glyphosate proporcionaram reduções na condutância estomática (gs) e na transpiração (E) das plantas de soja.

Palavras Chave: *Glycine max*, fotossíntese, fisiologia.

Influence of glyphosate on the physiological parameters of RR soybean in systematized meadow conditions

ABSTRACT

Soybeans are the most cultivated species in the world with a global production area that continues to grow each year, mainly due to the widespread use of glyphosate in the current weed management system based on soybeans glyphosate-resistant soy or Roundup Ready®. The objective of this work was to evaluate the physiological parameters of RR soybean treated with different doses of glyphosate. The work was carried out under systematized lowland conditions, in a second year soybean crop rotation system (Rice - Soybean) at Farm Cereals Vale do Javaés, located in the municipality of Formoso do Araguaia – TO. The experimental design was a randomized block with four replicates. The experiment consisted of thirteen treatments, 11 herbicide glyphosate doses (180, 360, 540, 720, 900, 1.080, 1.260, 1.440, 1.620, 1.800 and 1.980 grams of e.a ha⁻¹), a weed control and a control without weeding. The physiological evaluations were performed 24 hours after glyphosate herbicide applications, at the V4 vegetative stage, photosynthetic parameters such as photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiratory rate (E) and internal CO₂ concentration (Ci). The 1.980 grams ha⁻¹ dose of glyphosate herbicide influenced the reduction of photosynthesis (A). Doses greater than 1.620 grams of ha.⁻¹ of the glyphosate herbicide provided reductions in stomatal conductance (gs) and transpiration (E) of soybean plants.

Key Words: *Glycine max*, photosynthesis, physiology.

INTRODUÇÃO

A soja é a espécie mais cultivada no mundo com uma área de produção global que continua crescendo a cada ano, principalmente pelo amplo uso de glyphosate no atual sistema de manejo de plantas daninhas baseado na soja resistente ao glyphosate ou Roundup Ready® (RR). A primeira geração de soja foi introduzida em 1996 nos Estados Unidos (DUKE et al., 2003) e desenvolvida pela inserção do gene cp4 EPSPs, sequencialmente derivado de uma bactéria comum do solo *Agrobacterium* sp. estirpe cp4 (FRANZ et al., 1997). Este gene (cp4 EPSPs) leva à maior produção de 5-enol-piruvil chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) que é menos sensível à inibição do glyphosate comparado com a EPSPs endógena (nativa) de plantas de soja não-transgênicas.

Embora o principal argumento da biotecnologia RR seja a redução do volume de herbicidas (GIANESSI; CARPENTER, 2000), acredita-se que os agricultores utilizarão ainda mais glyphosate, uma vez que este não causa danos às cultivares resistentes ao glyphosate e permite uma janela mais ampla de aplicação. No entanto, poucas informações estão atualmente disponíveis em relação ao desempenho fisiológico da soja RR, após a exposição das plantas ao herbicida glyphosate, havendo somente dados comerciais e relatos por agricultores. Além disso, muitos agricultores relatam sintomas visuais de injúrias em algumas cultivares de soja RR após aplicação de glyphosate (ZABLOTOWICZ; REDDY, 2007). Tais sintomas conhecidos como “yellow flashing” ou amarelecimento das folhas superiores têm sido atribuídos ao acúmulo do primeiro metabólito fitotóxico do glyphosate, o ácido aminometilfosfônico (AMPA) (REDDY et al., 2004).

Observações em campo, no Brasil e no Centro-Norte dos Estados Unidos também sugerem que frequentes aplicações de glyphosate induzem a deficiência de Fe, Zn e Mn em variedades de soja RR (JOHAL; HUBER, 2009). Um estudo prévio demonstrou que o glyphosate reduziu as concentrações dos nutrientes minerais da parte aérea na soja RR em comparação à soja RR sem tratamento, com o efeito sendo mais pronunciado nas cultivares de grupo de maturação precoce (Zobiolo et al., 2010a). O efeito da diminuição da concentração dos nutrientes minerais da parte aérea pode ser atribuído a reduções nos parâmetros fotossintéticos como resultado do dano direto pelo glyphosate à clorofila (REDDY et al., 2004) ou pela imobilização de micronutrientes essenciais pelo glyphosate, pela sua habilidade em formar complexos insolúveis entre glyphosate-metal (COUTINHO; MAZO, 2005).

Além disso, Zobiolo et al. (2010b) em outros estudos com uma cultivar de grupo de maturação precoce mais sensível ao glyphosate, avaliaram a influência do aumento de doses de glyphosate na fotossíntese e na eficiência do uso da água nas plantas. Eles demonstraram que com o aumento da dose de glyphosate, todos os parâmetros fotossintéticos e a fluorescência da clorofila diminuíram drasticamente, consequentemente demonstrando que a fotossíntese, a eficiência no uso da água e a produção de biomassa da soja RR foram fortemente afetados pelo glyphosate.

De fato, poucos dados estão disponíveis em relação aos efeitos do glyphosate na fisiologia da soja RR, especialmente aqueles relacionados à fotossíntese, e ainda menos informações em relação ao efeito do glyphosate nas cultivares de soja em condições de várzea sistematizada. A compreensão das respostas das plantas transgênicas submetida ao uso de glyphosate em condições de campo é de fundamental importância para a adoção do manejo dessa tecnologia. Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar os parâmetros fisiológicos da soja RR tratadas com diferentes doses de glyphosate.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em condições de várzea sistematizada, onde as lâminas de água destinadas para irrigação são controladas através da abertura e fechamento de comportas, em área de segundo ano de plantio, sistema de produção rotacionado (Arroz - Soja) na Fazenda Cereais Vale do Javaés situada no município de Formoso do Araguaia – TO, rodovia TO 242, km 483. Localizada em latitude Sul 11° 47' 44,2'' e longitude Oeste 049° 42' 46,7'' apresentando uma altitude de 218 metros. As condições climáticas do período de desenvolvimento do trabalho estão representadas na figura 1.

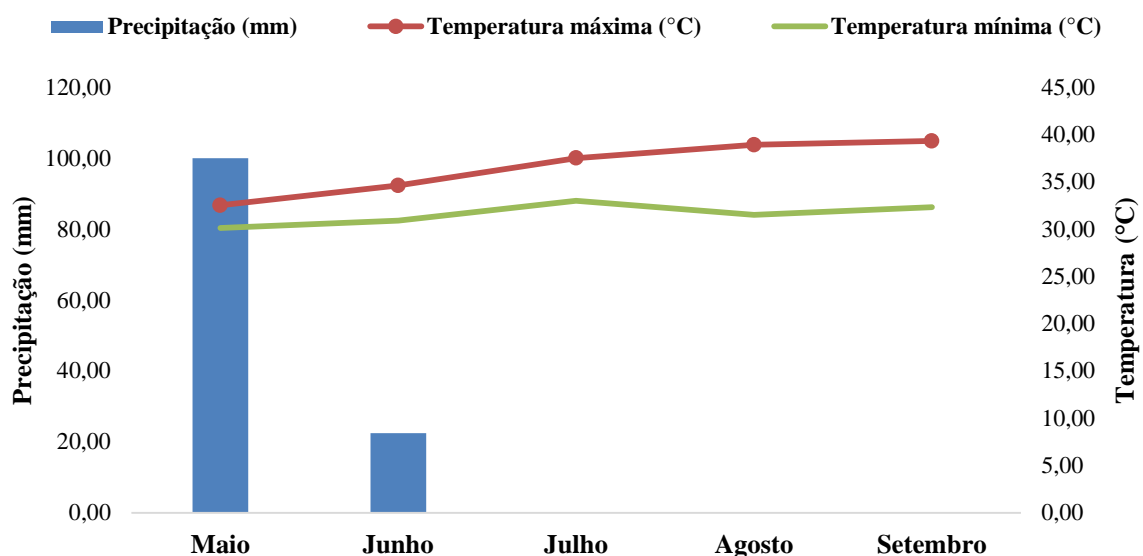


Figura 1 – Dados climáticos do período experimental (Maio de 2015 a Setembro de 2015). Formoso do Araguaia, TO. Fonte: INMET.

Amostras simples de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm com auxílio de trado. O solo apresentou as seguintes características: pH em H₂O = 4,9; M.O (g dm⁻³) = 32,1; P (Melich⁻¹) = 9,0; Ca = 0,7 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,5 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,0 cmol_c dm⁻³; K = 0,8 cmol_c dm⁻³; SB = 2,7 cmol_c dm⁻³; 366,3 g kg⁻¹ de areia; 63,4 g kg⁻¹ de silte e 579,3 g kg⁻¹ de argila.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional com uma aração e duas gradagens, após o processo de preparo do solo, foi passado um rolo nivelador para manter uma melhor uniformidade do terreno e qualidade de semeadura.

A semeadura foi realizada em 04 de junho de 2015, a cultivar utilizada foi a CD 2857 RR caracterizada como material de ciclo médio com grupo de maturação 8.5, com uma densidade de 14 sementes metro⁻¹ e espaçamento de 0,50 metro entre linhas. Por ocasião do plantio inoculou-se as sementes com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, com

concentração mínima de 5×10^9 células viáveis ml^{-1} de inoculante, na dosagem de $0,1 \text{ L ha}^{-1}$ de Inoculante em 50 kg de semente de soja, com a finalidade de se obter boa nodulação das raízes. As sementes foram tratadas com (Fipronil + Piraclostrobrina + Tiofanato metílico) na dose de 200 mL para 100 kg de semente. A adubação foi realizada no sulco de plantio utilizando 280 kg ha^{-1} da fórmula 00-20-20 (NPK). Aos 15 DAE (Dias após a emergência) foi realizada uma adubação de cobertura com 60 kg ha^{-1} de KCL (Cloreto de Potássio).

Os tratos culturais para controle de pragas como as lagartas da soja (*Anticarsia Gemmatalis*) e falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*) ao longo do ciclo da cultura utilizou-se os inseticidas: Metomil ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$), Lambda-cialotrina + Chlorantraniliprole ($0,075 \text{ L ha}^{-1}$) e Teflubenzurom ($0,050 \text{ L ha}^{-1}$). O manejo das doenças Mancha alvo (*Corynespora cassiicola*) e Antracnose (*Colletotrichum truncatum*) foi realizado com três aplicações de fungicidas: Piraclostrobrina + Fluxapiróxade ($0,3 \text{ L ha}^{-1}$ e $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ de óleo mineral recomendado pelo fabricante) no estágio vegetativo V8, Trifloxistrobrina + Protiocozol ($0,4 \text{ L ha}^{-1}$ e $0,3 \text{ L ha}^{-1}$ de éster metílico de óleo de soja) no estágio reprodutivo R2 e Azoxistrobrina + Benzovindiflupir ($0,2 \text{ Kg ha}^{-1}$ e $0,6 \text{ L ha}^{-1}$ de óleo mineral) no estágio reprodutivo R4.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições, o experimento foi constituído de treze tratamentos incluindo uma testemunha sem aplicação e uma testemunha capinada (Tabela 1), sendo que os tratamentos referentes as aplicações, foram constituídos com diferentes doses do glyphosate comercialmente formulado com o sal de isopropilamina (360 g e.a L^{-1}).

As aplicações dos tratamentos foram realizadas quando a soja encontrava-se no estágio vegetativo V4 (Três trifólios totalmente abertos), 15 dias após a emergência (DAE) (Tabela 1). As parcelas experimentais apresentavam 6 linhas com comprimento de 7 metros e espaçadas entre si com 0,50 metro. Para área útil considerou-se às duas linhas centrais de cada parcela, desprezando 1 metro nas extremidades de cada linha totalizando uma área útil de 5 m^2 por parcela.

Tabela 1 – Tratamentos aplicados na cultura da soja, cultivar CD 2857, com respectivas doses e estágio de desenvolvimento da cultura no momento da aplicação. Formoso do Araguaia – TO, 2015.

Tratamentos	Produto Comercial (L ha ⁻¹)	Equivalente Ácido (g ha ⁻¹)	Estádio de desenvolvimento
1) Testemunha sem capina	-	-	-
2) Testemunha capinada	-	-	-
3) Glyphosate	0,5	180	V4
4) Glyphosate	1,0	360	V4
5) Glyphosate	1,5	540	V4
6) Glyphosate	2,0	720	V4
7) Glyphosate	2,5	900	V4
8) Glyphosate	3,0	1.080	V4
9) Glyphosate	3,5	1.260	V4
10) Glyphosate	4,0	1.440	V4
11) Glyphosate	4,5	1.620	V4
12) Glyphosate	5,0	1800	V4
13) Glyphosate	5,5	1980	V4

P.C = Produto Comercial; E.A = Equivalente Ácido.

As aplicações dos tratamentos foram realizadas utilizando-se um pulverizador costal pressurizado a CO₂, com pressão constante, munido de seis pontas XR 110015 BD, espaçadas de 0,5 metro e volume de calda de 150 L ha⁻¹. Durante as aplicações a umidade relativa do ar manteve-se em 76%, temperatura em 29 °C e velocidade do vento variando de 2 a 3 km h⁻¹.

As avaliações fisiológicas foram realizadas 24 horas após as aplicações do herbicida glyphosate, no estágio vegetativo V4, os parâmetros fotossintéticos como taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E) e a concentração interna de CO₂ (Ci) foram avaliados pelo analisador de gases infravermelho portátil (Irga – Infra RedGasAnalyser), modelo Li – 6400XT (*Portable Photosynthesis System - LI*) da LICOR. As leituras foram realizadas entre 7:00 e 11:00 horas da manhã escolhendo o trifólio totalmente expandido (folha diagnose) de uma planta de cada parcela.

Foi utilizado um nível de irradiância saturante de 1500 μmol m⁻² s⁻¹ de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (*DFFFA*), com temperatura do bloco calibrada a 28°C, dentro da câmara de medida, que abrange uma área foliar de 6 cm² (2x3 cm).

As médias dos dados foram submetidas à análise de variância, realizou-se a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para todas as variáveis estudadas, utilizando-se do programa software SISVAR (FERREIRA et al., 2011).

RESULTADOS

Os dados demonstraram que as doses do herbicida glyphosate afetaram de forma negativa os parâmetros fotossintéticos da soja RR, diminuindo os parâmetros (A, gs e E). Verificou-se efeito significativo para as variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância da fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e concentração interna de CO₂ (Ci) em função das doses de glyphosate aplicadas na cultivar de soja CD 2857 RR. Formoso do Araguaia – TO, 2015.

Fonte de Variação	QUADRADO MÉDIO				
	GL	A	gs	E	Ci
Tratamento	12	22,07*	0,08**	2,02**	131,93 ^{NS}
Bloco	3	11,07 ^{NS}	0,04*	0,85 ^{NS}	93,10 ^{NS}
Resíduo	36	10,47	0,01	0,49	106,12
DMS =	-	8,11	0,30	1,76	25,81
C.V (%) =	-	15,19	17,65	13,06	3,61

^{NS} não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade e * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para a variável fotossíntese (A) (Figura 2), analisou-se que a cultivar de soja utilizada obteve redução deste parâmetro à medida que aumentou a dose de glyphosate. Sendo que na maior dose de glyphosate (1.980 gramas de e.a ha⁻¹) obteve-se o valor de 17,62 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, o que representa uma redução de 46,25%, em relação à testemunha capinada, que apresentou valor de 25,77 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A fotossíntese (A) das plantas que não receberam aplicação de glyphosate, aos (16 DAE) estava entre 23,00 – 26,00 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Sendo estes valores superiores aos 20 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ considerados ótimo para a fase vegetativa da soja (LIU et al., 2005). Resultados encontrados por Zobiolo et al. (2010b), 48 horas após a aplicação de diferentes doses de glyphosate (600 a 2.400 g e.a ha⁻¹) em aplicações únicas na cultivar de soja BRS 242 RR, observaram que a taxa fotossintética (A) variou entre 11,00 e 5,00 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Zobiolo et al. (2010a) observaram que a aplicação única de glyphosate (1.200 g e.a ha⁻¹), nas cultivares de soja BRS 245 RR e BRS 247 RR teve maior efeito negativo que em aplicações sequenciais (600 + 600 g e.a ha⁻¹), onde a fotossíntese (A) apresentou valores de 11,81 e 12,58 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente, sendo estas avaliações realizadas 10 dias após a aplicação do herbicida glyphosate.

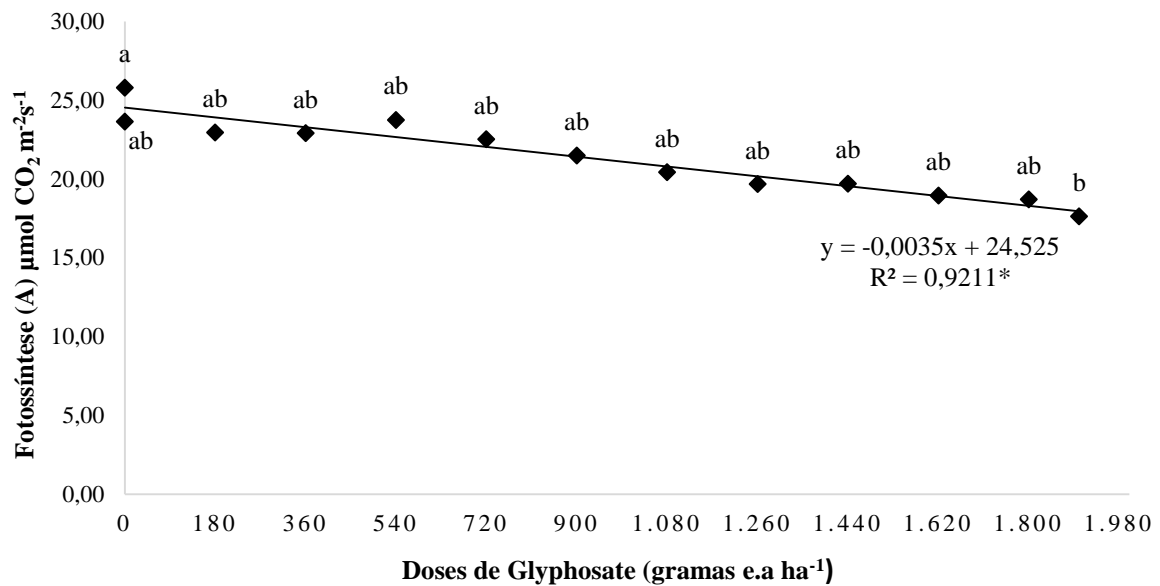


Figura 2 – Fotossíntese (A) $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sob aumento da dose de glyphosate aplicado no estágio vegetativo V4. Cultivar de soja CD 2857 RR. Formoso do Araguaia – TO, 2015. Médias seguidas de uma mesma letra minúscula entre, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. *($P < 0,05$), **($P < 0,01$) e ^{NS}(Não significativo).

Em relação à Condutância estomática (gs) (Figura 3), observou-se redução deste parâmetro à medida que aumentou-se a dose de glyphosate, porém significativamente a partir da dose correspondente a 1.260 gramas de e.a ha⁻¹ de glyphosate, em relação à testemunha capinada. Na maior dose utilizada (1.980 gramas de e.a ha⁻¹ de glyphosate) o valor da gs correspondeu a 0,44 mol m⁻² s⁻¹, proporcionando uma redução de 102,27%, quando comparada à testemunha capinada, que apresentou valor de 0,89 mol m⁻² s⁻¹.

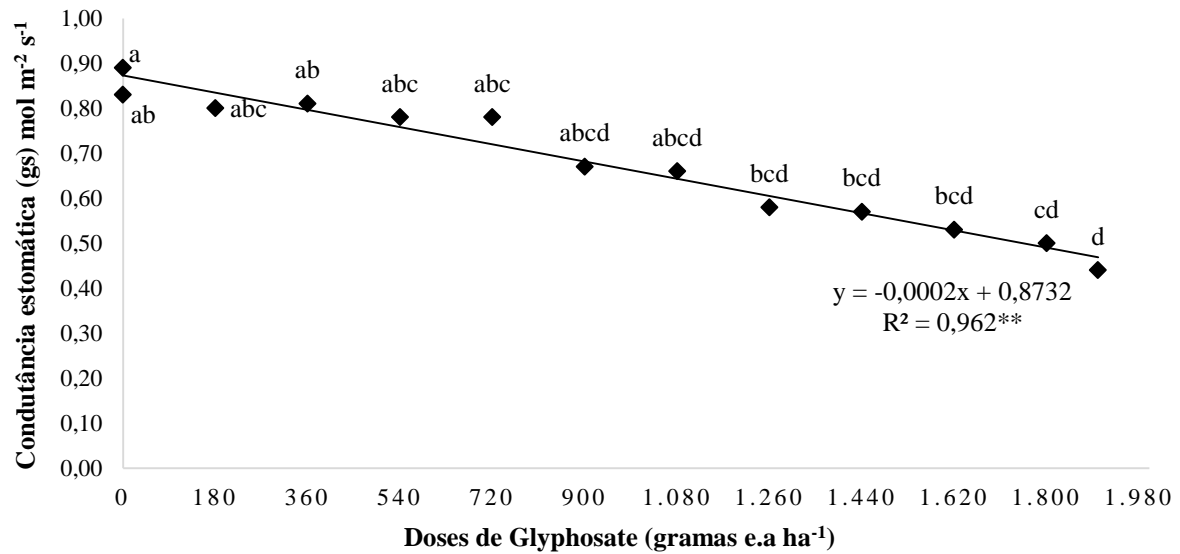


Figura 3 – Condutância estomática (gs) mol m⁻² s⁻¹, sob aumento da dose de glyphosate aplicado no estágio vegetativo V4. Cultivar de soja CD 2857 RR. Formoso do Araguaia – TO, 2015. Médias seguidas de uma mesma letra minúscula entre, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. *(P<0,05), **(P<0,01) e ^{NS}(Não significativo).

A Transpiração (E) (Figura 4), também apresentou redução com o aumento da dose de glyphosate, porém significativamente quando comparada à testemunha capinada, somente a partir da dose de 1.620 gramas de e.a ha⁻¹ de glyphosate. Na maior dose, equivalente a 1.980 gramas de e.a ha⁻¹ de glyphosate, obteve-se o valor de 4,16 mol m⁻² s⁻¹ proporcionando redução de 52,16% quando comparada à testemunha capinada, que apresentou valor de 6,33 mol m⁻² s⁻¹.

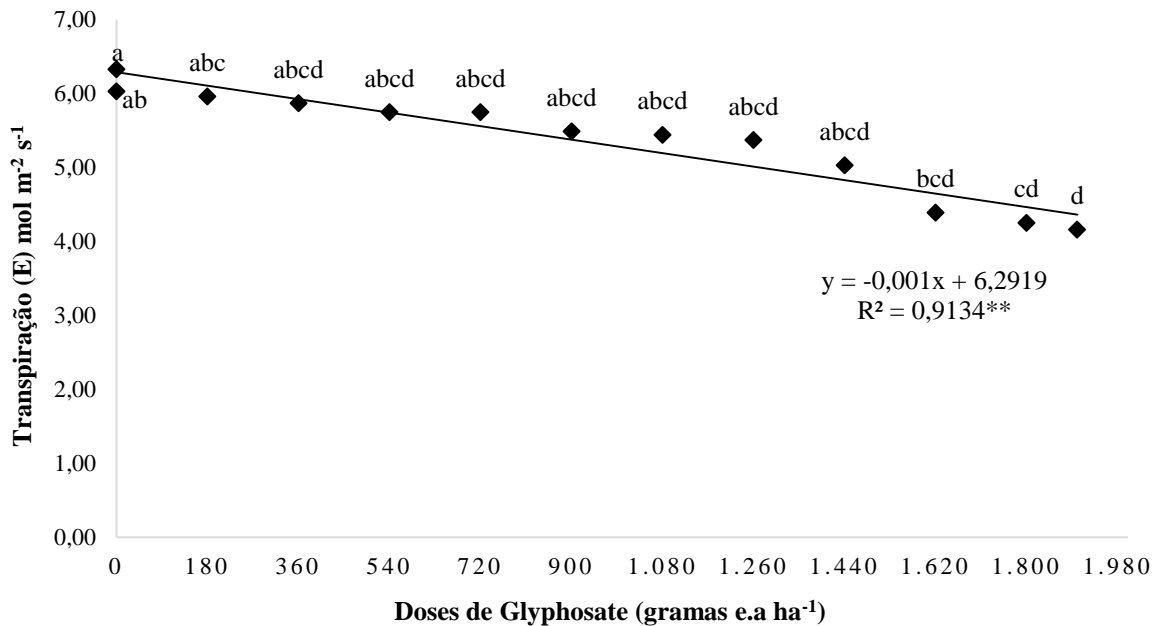


Figura 4 – Transpiração (E) mol m⁻² s⁻¹, sob aumento da dose de glyphosate aplicado no estágio vegetativo V4. Cultivar de soja CD 2857 RR. Formoso do Araguaia – TO, 2015. Médias seguidas de uma mesma letra minúscula entre, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. *(P<0,05), **(P<0,01) e ^{NS}(Não significativo).

O parâmetro Concentração interna de CO₂ (Ci) (Figura 5), aumentou com a elevação das doses de glyphosate, porém não diferindo estatisticamente. Embora não havendo diferença significativa, a maior dose de glyphosate, correspondente a 1.980 gramas de e.a ha⁻¹ proporcionou um aumento de 3,91% na Ci (289,12 mol m⁻² s⁻¹) quando comparada à testemunha capinada (278,23 mol m⁻² s⁻¹).

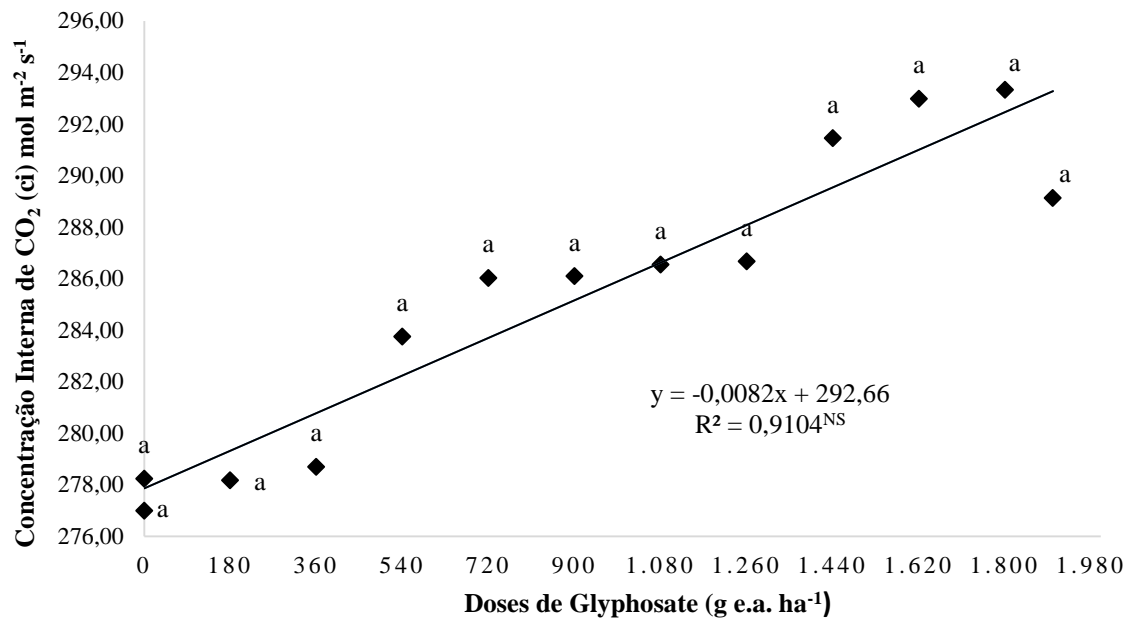


Figura 5 – Concentração interna de CO₂ (Ci) mol m⁻² s⁻¹, sob aumento da dose de glyphosate aplicado no estágio vegetativo V4. Cultivar de soja CD 2857 RR. Formoso do Araguaia – TO, 2015. Médias seguidas de uma mesma letra minúscula entre, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. *(P<0,05), **(P<0,01) e ^{NS}(Não significativo).

DISCUSSÃO

Zobiolo et al. (2010a) observaram que a aplicação única ($1.200 \text{ g e.a ha}^{-1}$) teve maior efeito negativo na fotossíntese. Resultados similares foram observados por Zobiolo et al. (2010b) durante a avaliação de diferentes doses de glyphosate ($600 \text{ a } 2.400 \text{ g e.a ha}^{-1}$) em aplicações únicas. Os resultados obtidos no presente estudo estão em acordo com os demais, ou seja, os tratamentos sem glyphosate foram fisiologicamente superiores em relação aqueles com glyphosate para a variável fotossíntese.

O efeito do glyphosate sobre os parâmetros fotossintéticos, provavelmente, são decorrentes do menor teor de clorofila nas plantas tratadas com glyphosate, conforme sugerido por Reddy et al., (2004) que citam o dano direto do glyphosate à clorofila (REDDY et al., 2004), assim como, à imobilização do Mg e Mn requerido para a produção e ao funcionamento da clorofila (TAIZ; ZEIGER, 1998).

Uma vez que o glyphosate forma complexos insolúveis com metais (COUTINHO; MAZO, 2005), a diminuição dos micronutrientes poderia afetar a principal função do cloroplasto, por exemplo a fotossíntese, evidenciado a redução nos parâmetros fotossintéticos.

Zobiolo et al. (2010c) relataram que a diminuição de biomassa na soja RR na presença do glyphosate pode ser consequência do menor acúmulo e disponibilidade de nutrientes, causado pela propriedade quelante deste herbicida. Estudos e observações em campo têm mostrado que o glyphosate afeta a disponibilidade dos micronutrientes nas plantas (ZOBIOLE et al., 2010a) o que tem sido correlacionado com sua habilidade de formar complexos insolúveis com metais (COUTINHO & MAZO, 2005). De acordo com Eker et al. (2006), após a absorção do glyphosate, a absorção e o transporte de micronutrientes catiônicos pode ser inibida pela formação de complexos pouco solúveis entre glyphosate e metais dentro do tecido da planta. O glyphosate, por pertencer ao grupo químico dos aminoácidos fosfonados, apresenta assim como seu precursor, a glicina, comportamento zwitteriônico, com duas cargas em pH neutro, uma positiva no grupo amino e uma negativa no grupo aniônico fosfonado, possuindo a habilidade de formar complexos fortes com metais (COUTINHO & MAZO, 2005). De modo geral, diversos fatores podem influenciar a absorção dos nutrientes, entre eles a capacidade de exploração do sistema radicular, as condições edafoclimáticas, as propriedades dos solos, a disponibilidade de água e provavelmente agentes químicos externos como o glyphosate, pela característica de complexação com cátions metálicos.

De acordo com Magalhães Filho et al. (2008), o parcial fechamento estomático leva à diminuição na condutância estomática (gs) e conseqüentemente o aumento no CO_2

subestomático (Ci). Como a condutância estomática diminuiu com o aumento da dose de glyphosate, uma intensa diminuição foi observada na taxa transpiratória (E), e na taxa fotossintética (A).

A produção de biomassa total da soja depende fundamentalmente da energia suprida pela fotossíntese, a qual é baseada na energia solar para sintetizar compostos carbônicos. No presente trabalho a fotossíntese foi reduzida com as altas doses do herbicida glyphosate 24 horas após a aplicação dos tratamentos, possivelmente em função do estresse causado pela aplicação do herbicida. Desta forma, com área foliar adequada, a produção de carbono é otimizada com esta captação de energia (TAIZ; ZEIGER, 1998). Portanto, reduções na fotossíntese podem causar redução na área foliar e consequentemente na biomassa das plantas.

Com diminuições em A e E, observou-se que os efeitos foram proporcionais às doses aplicadas. No estádio V4 mesmo após 24 horas da aplicação do glyphosate, as plantas não-tratadas com glyphosate foram mais eficientes que aquelas tratadas com glyphosate, pela difusão do CO₂ para o cloroplasto ser essencial para a fotossíntese. A cutícula que cobre a folha é praticamente impermeável ao CO₂, portanto a principal porta de entrada do CO₂ na folha é o poro estomático, no qual o CO₂ se difunde através da cavidade subestomática e dentro dos espaços intracelulares entre o mesofilo das células (TAIZ; ZEIGER, 1998).

A redução da fotossíntese pode corresponder ao processo fisiológico do mecanismo de fechamento dos estômatos das folhas, estratégia que as plantas utilizam não só para reduzir as perdas de água, como também reduzir o suprimento de CO₂ para as folhas, o resultado é uma queda na fotossíntese, conforme resultados aqui obtidos.

A redução nos parâmetros fotossintéticos na soja RR tratada com glyphosate, sugere que tanto o glyphosate quanto seus metabólitos possuem um impacto residual persistente na fisiologia e no ciclo da planta (ARREGUI et al., 2004). Shibles & Weber (1965) concluíram que a produção de biomassa total da soja depende da energia suprida pelo processo fotossintético para sintetizar compostos carbônicos. Com a menor disponibilidade de energia nas plantas RR tratadas com glyphosate, este carbono não poderá ser assimilado eficientemente (TAIZ; ZEIGER, 1998).

Como o glyphosate deve passar através da membrana plasmática e entrar no simplasto para causar toxidez (BERNARDS et al., 2005), a hipótese de que o glyphosate poderia romper a plasmalema e causar um estresse na planta. Sendo que a membrana plasmática é a chave estrutural que pode ser rompida por fatores externos (Agentes químicos), desta forma o

transporte de água é abruptamente diminuído no interior da planta (KRAMER; BOYER, 1995). Assim, diminuições em A, E e g_s poderiam explicar o estresse causado pelas aplicações do herbicida glyphosate.

Apesar de não constatar diferença significativa entre os tratamentos em relação a concentração de carbono interno (C_i), notou-se um aumento neste parâmetro com em função das doses aplicadas, o que pode ser explicado como uma resposta ao fechamento dos estômatos, com diminuição da transpiração e conseqüente redução na fotossíntese. O fechamento estomático é um importante fator que contribui para depressão na assimilação de CO_2 (ZLATEV; YORDANOV, 2004) e redução na transpiração.

CONCLUSÕES

- A dose de 1.980 gramas de e.a ha⁻¹ do herbicida glyphosate reduziu significativamente a fotossíntese (A), quando comparada a plantas sem aplicação do herbicida, após 24 horas da aplicação.
- Doses superiores a 1.620 gramas de e.a ha⁻¹ do herbicida glyphosate proporcionaram reduções significativas na condutância estomática (gs) e na transpiração (E) das plantas de soja, quando comparada a aquelas sem aplicação do herbicida, após 24 horas da aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARREGUI, M.C.; LENARDÓN, A.; SANCHEZ, D.; MAITRE, M.I.; SCOTTA, R.; ENRIQUE, S. Monitoring glyphosate residues in transgenic glyphosate-resistant soybean. **Pest Management Science**. n.60, p.163, 2003.

BERNARDS, M.L.; THELEN, K.D.; PENNER, D.; MUTHUKUMARAN, R.B.; MCCracken, J.L. Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effects on glyphosate absorption and translocation. **Weed Science**., v.53, p.787-794, 2005.

COUTINHO, C.F.B.; MAZO, L.H. Complexos metálicos com o herbicida glyphosate: Revisão. **Química Nova**, v.28, n.6, p.1038-1045, 2005.

DUKE, S.O.; RIMANDO, A.M.; PACE, P.F.; REDDY, N.K.; SMEDA, R.J. Isoflavone, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid levels in seeds of glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 51, p. 340-344, 2003.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia** Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRANZ, J.E.; MAO, M.K.; SIKORSKI, J.A. Glyphosate: A Unique Global Herbicide; ACS Monograph 189; **American Chemical Society**: Washington, DC, 1997.

GIANESSI, L.P.; CARPENTER, J.E. Agricultural Biotechnology: Benefits of Transgenic Soybeans, **National Center for Food and Agricultural Policy**, 2000.

JOHAL, G.S.; HUBER, D.M. Glyphosate effects on diseases of plants. **European Journal of Agronomy**., v.31, p.144-152, 2009.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. Cell water relations. In: KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. (Eds.). Water relations of plants and soils. San Diego: **Academic Press**, 1995. p.42-80, 495p.

LIU, F.; ANDERSEN, M.N.; JACOBSEN, S.E.; JENSEN, C.R. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying. **Environmental and Experimental Botany**, v.54, p.33-40, 2005.

PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A.; MATINEZ, C.A.; WERLANG, R.C. Características fisiológicas das culturas de soja e feijão e de três espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.211-216, 2004.

REDDY, K.N.; RIMANDO, A.M.; DUKE, S.O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.52, p.5139-5143, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Mineral Nutrition. In: Plant Physiology. Sinauer Associates, Sunderland, p. 111-144. 1998.

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Crop Protection.**, v.26, p. 370-376, 2007.

ZLATEV, Z.S.; YORDANOV, I.T. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulg. **Journal of Plant Physiology.** v.30, n.4, p.3-18, 2004.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; KREMER, R.J.; CONSTANTIN, J.; YAMADA, T.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Effect of glyphosate on symbiotic N₂ fixation and nickel concentration in glyphosate-resistant soybeans. **Applied Soil Ecology**, v. 44, p. 176-180, 2010a.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR, R.S.; KREMER, R.J.; CONSTANTIN, J.; BONATO, C.M.; MUNIZ, A.S. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. **Pesticide Biochemistry and Physiology.**, 2010b, v.97, p.182-193.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate resistant soybeans is reduced under glyphosate use **Journal of Plant Nutrition**, v.33, p. 1860-1873, 2010c.